



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA CIVIL**

TEMA:

**“MODELACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINACIÓN DE LA
EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIA TIPO T45 EN
ELEVACIÓN Y DEPRESIÓN DE LA VÍA, APLICANDO MECÁNICA DE
FLUIDOS COMPUTACIONALES.”**

AUTOR: Andrea Lizet Acosta Escobar

TUTOR: Ing. Mg. Anibal Geovanny Paredes Cabezas

AMBATO – ECUADOR

Marzo - 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniera Civil, con el tema: **“MODELACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIA TIPO T45 EN ELEVACIÓN Y DEPRESIÓN DE LA VÍA, APLICANDO MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES”**, elaborado por la Srta. Andrea Lizet Acosta Escobar, portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 1804549499, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2021

Ing. Mg. Anibal Geovanny Paredes Cabezas

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Andrea Lizet Acosta Escobar**, con C.I. 1804549499, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“MODELACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIA TIPO T45 EN ELEVACIÓN Y DEPRESIÓN DE LA VÍA, APLICANDO MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de la referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2021



Andrea Lizet Acosta Escobar

C.I: 180454949-9

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.

Ambato, Marzo 2021



Andrea Lizet Acosta Escobar

C.I: 180454949-9

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Andrea Lizet Acosta Escobar de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema **“MODELACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SUMIDROS DE AGUAS LLUVIA TIPO T45 EN ELEVACIÓN Y DEPRESIÓN DE LA VÍA, APLICANDO MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONALES”**.

Ambato, Marzo 2021

Ing. Mg. Dilon Germán Moya Medina
Miembro Calificador

Ing. Mg. Jorge Javier Guevara Robalino
Miembro Calificador

DEDICATORIA

A mi madre Patricia Escobar, que desde niña ha guiado mis pasos, ha cuidado de mí en cada día de enfermedad, por no dejarme sola, que con su dedicación y esfuerzo me ha impulsado para ser mejor persona, a luchar por mis sueños y hacerlos realidad, gracias por todo lo que has hecho por mí.

A mi padre Nivaldo Acosta, quien fue mi inspiración para seguir esta hermosa y apasionante carrera, por ser mi apoyo y amigo, gracias por ser un buen padre e inculcarme valores para ser la persona que soy hoy en día.

A mi hermano Alexis, por ser mi cómplice en cada aventura, cada travesura, gracias por apoyarme y ser incondicional.

A Adriana por todo su apoyo a lo largo de mi etapa universitaria, por ser una importante persona en mi vida, gracias por no soltar mi mano, por ayudarme a levantar cada vez que caía, por acompañar mis desvelos, por impulsarme siempre a ir por mis metas, por celebrar mis triunfos como tuyos, gracias por todo tu amor.

A Romeo, mi fiel compañero de cuatro patitas, que alegra mis días con su presencia.

Andy

AGRADECIMIENTO

A la Virgencita de Guadalupe por sanar mis dolencias, guiar mi camino, iluminarme en los momentos de oscuridad, gracias madre por cuidar siempre de mí.

A mis padres por su apoyo y sacrificio que han realizado a lo largo de toda mi preparación profesional.

A mis compañeros de tesis David Paredes y Jaime Robalino, por su paciencia y ayuda a lo largo del desarrollo del proyecto.

A mis tutores de tesis Ingeniero Geovanny Paredes e Ingeniero Lenin Maldonado, quienes guiaron e impartieron sus conocimientos para el correcto desarrollo y ejecución del proyecto.

A cada docente de mi amada Carrera de Ingeniería Civil, que sus conocimientos han permitido moldear a una nueva profesional.

A mi familia y amigos por motivarme y apoyarme siempre en cada paso.

Andy

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	viii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación	3
1.1.3. Fundamentación Teórica.....	4
1.1.3.1 Análisis Hidrológico	4
1.1.3.2 Análisis Normativa Vial.....	16
1.1.3.2.1 Elementos generales del diseño de vías	16
1.1.3.3 Análisis Hidráulico.....	22
1.1.4. Hipótesis.....	35
1.2. Objetivos	35
1.2.1. Objetivo General	35
1.2.2. Objetivos Específicos	36
CAPÍTULO II.....	37
METODOLOGÍA	37
2.1. Materiales	37
2.2. Métodos.....	38
2.2.1. Nivel o tipo de investigación.....	38
2.2.2. Población y muestra.....	39
2.2.2.1. Población	39
2.2.2.2. Muestra.....	40
2.2.3 Plan de recolección de información.....	42
2.2.4. Plan de procesamiento y análisis	42

CAPÍTULO III.....	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
3.1 Análisis y discusión de resultados.....	43
3.1.1. Presentación general del modelo	43
3.1.2 Determinación de la geometría del modelo.....	46
3.1.3. Valores a utilizarse en el modelo	49
3.1.4. Valores de caudales.....	53
3.1.5. Renderización de un modelo representativo mediante programas computacionales CFD.....	55
3.1.6 Caudales obtenidos en la modelación de sumidero tipo T45.....	56
3.1.7. Calibración entre el modelo físico y modelo matemático	58
3.1.8. Cálculo de la eficiencia hidráulica del modelo numérico	59
3.1.9. Tablas y curvas de la eficiencia hidráulica del modelo numérico	60
3.2.0. Análisis de escenarios	67
3.2.1. Correlación matemática	71
3.3 Verificación de hipótesis.....	77
CAPÍTULO IV	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
4.1. Conclusiones.....	79
4.2. Recomendaciones	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ubicación de estación pluviográfica Ambato	8
Tabla 2: Ecuaciones IDF para estación pluviográfica Ambato	9
Tabla 3: Valores de escurrimiento para cuencas urbanas	12
Tabla 4: Coeficiente de escorrentía – Zona Urbana.....	14
Tabla 5: Clasificación del tipo de topografía.....	17
Tabla 6: Características de los niveles de servicio para carreteras de 2 carriles.....	19
Tabla 7: Ancho de Calzada.....	20
Tabla 8: Clasificación de pendientes transversales.....	21
Tabla 9: Valores de Pendiente Longitudinal.....	21
Tabla 10: Combinaciones con pendientes transversal y longitudinal.	39
Tabla 11: Combinaciones seleccionadas para la muestra.	40
Tabla 12: Transformación de valores de escala reducida a escala real, para escenario S1 y S2, bombeo 2%	54
Tabla 13: Combinaciones de caudales y pendientes.....	54
Tabla 14: Caudales de combinaciones en elevación con 1 sumidero “S1”, expresado en lt/s	56
Tabla 15: Caudales de combinaciones en depresión con 1 sumidero “S1”, expresado en lt/s	57
Tabla 16: Caudales de combinaciones en elevación con 2 sumideros “S2”, expresado en lt/s	57
Tabla 17: Caudales de combinaciones en depresión con 2 sumideros “S2”, expresado en lt/s	58
Tabla 18: Valores numéricos de parámetros α y β para sumidero S1 y coeficientes de determinación de coeficientes ajustado R^2_{adj}	59
Tabla 19: Valores numéricos de parámetros α y β para sumidero S2 y coeficientes de determinación de coeficientes ajustado R^2_{adj}	59
Tabla 20: Eficiencia hidráulica en elevación para escenario “S1” con pendiente transversal de 2%	60
Tabla 21: Eficiencia hidráulica en depresión para escenario “S1” con pendiente transversal de 2%	61
Tabla 22: Eficiencia hidráulica en elevación para escenario “S1” con pendiente transversal de 4%	62
Tabla 23: Eficiencia hidráulica en depresión para escenario “S1” con pendiente transversal de 4%	63
Tabla 24: Eficiencia hidráulica en elevación para escenario “S2” con pendiente transversal de 2%	64
Tabla 25: Eficiencia hidráulica en depresión para escenario “S2” con pendiente transversal de 2%	65
Tabla 26: Eficiencia hidráulica en elevación para escenario “S2” con pendiente transversal de 4%	66
Tabla 27: Eficiencia hidráulica en depresión para escenario “S2” con pendiente transversal de 4%	67
Tabla 28: Comparación de escenarios S1 y S2, pendiente transversal 2% y longitudinal 4%, elevación	68

Tabla 29: Comparación de escenarios S1 y S2, pendiente transversal 4% y longitudinal 12%, elevación.....	69
Tabla 30: Comparación de escenarios S1 y S2, pendiente transversal 4% y longitudinal 0.50%, depresión.....	71
Tabla 31: Estabilización del fluido para pendiente transversal 4% y longitudinal 4%, S1, elevación	86
Tabla 32: Estabilización del fluido para pendiente transversal 4% y longitudinal 2%, S1, depresión.....	87
Tabla 33: Estabilización del fluido para pendiente transversal 4% y longitudinal 2%, S2, elevación	89
Tabla 34: Estabilización del fluido para pendiente transversal 4% y longitudinal 12%, S2, depresión	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de una cuenca hidrográfica	5
Figura 2: Curva intensidad – duración - frecuencia.....	7
Figura 3: Área de drenaje de una cuenca hidrográfica	16
Figura 4: Flujo Permanente	22
Figura 5: Flujo no Permanente	23
Figura 6: Flujo Uniforme.....	24
Figura 7: Flujo no Uniforme	24
Figura 8: Flujo rápidamente variado.....	25
Figura 9: Flujo gradualmente variado.....	26
Figura 10: Flujo laminar	27
Figura 11: Flujo turbulento.....	27
Figura 12: Flujo de transición.....	28
Figura 13: Curva de Energía Específica	29
Figura 14: Diagrama de combinaciones totales a utilizarse para las simulaciones.....	41
Figura 15: Modelo de sumideros tipo T45	43
Figura 16: Eficiencia de captación vs Caudal, modelo S1, bombeo 2%	44
Figura 17: Eficiencia de captación vs Caudal, modelo S1, bombeo 4%	44
Figura 18: Eficiencia de captación vs Caudal, modelo S2, bombeo 2%	45
Figura 19: Eficiencia de captación vs Caudal, modelo S2, bombeo 4%	45
Figura 20: Modelo de media vía con variación en pendiente longitudinal y transversal.....	46
Figura 21: Dimensiones de sumidero tipo T45 expresado en metros.....	47
Figura 22: Modelo de sumidero tipo T45 en vista 3D	47
Figura 23: Modelo S1 en elevación, media vía	48
Figura 24: Modelo S1 depresión, media vía	48
Figura 25: Modelo S2 en elevación, media vía	49
Figura 26: Modelo S2 en depresión, media vía	49
Figura 27: Condiciones de borde utilizadas para el modelo	50
Figura 28: Mallado de media vía.....	51
Figura 29: Condiciones de mallado para sumidero tipo T45.....	51
Figura 30: Estabilización del fluido.....	52
Figura 31: Renderizado de sumidero tipo T45	55
Figura 32: Renderizado de media vía con sumidero tipo T45.....	55
Figura 33: Renderizado de simulación en el programa CFD.....	56
Figura 34: Curva de eficiencia S1 – elevación	60
Figura 35: Curva de eficiencia S1 – depresión.....	61
Figura 36: Curva de eficiencia S1 – elevación	62
Figura 37: Curva de eficiencia S1 – depresión.....	63
Figura 38: Curva de eficiencia S2 – elevación	64
Figura 39: Curva de eficiencia S2 – elevación	65
Figura 40: Curva de eficiencia S2– elevación	66
Figura 41: Curva de eficiencia S1 – depresión.....	67
Figura 42: Curva de comparación de S1 y S2, pendiente transversal 2%, elevación.....	68
Figura 43: Curva de comparación de S1 y S2, pendiente transversal de 4%, elevación.	69
Figura 44: Curva de comparación de S1 y S2, pendiente transversal 2%, depresión.....	70
Figura 45: Curva de comparación de S1 y S2, pendiente transversal 4%, depresión.....	71

Figura 46: Correlación matemática para S1 en elevación 2%	72
Figura 47: Correlación matemática para S1 en elevación 4%	73
Figura 48: Correlación matemática para S1 en depresión 2%	73
Figura 49: Correlación matemática para S1 en depresión 4%	74
Figura 50: Correlación matemática para S2 en elevación 2%	74
Figura 51: Correlación matemática para S2 en elevación 4%	75
Figura 52: Correlación matemática para S2 en depresión 2%	75
Figura 53: Correlación matemática para S2 en depresión 4%	76
Figura 54: Estabilización de fluido, S1, (4% - 4%), elevación	87
Figura 55: Estabilización de fluido, S1, (4% - 2%), depresión	88
Figura 56: Estabilización de fluido, S2, (4% - 2%), elevación	90
Figura 57: Estabilización de fluido, S2, (4% - 12%), depresión	91

RESUMEN

El presente trabajo experimental determina la eficiencia hidráulica en la captación de aguas lluvia en sumideros implantados en vías urbanas, agregando nuevos parámetros con modificaciones como son elevación y depresión de la rejilla tipo T45.

Partiendo de investigaciones previas realizadas en modelos físicos en escala 1:4 ensayados en los laboratorios de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se obtienen los valores de caudales que serán ingresados en un software de dinámica de fluidos computacionales (CFD), para determinar la eficiencia de los sumideros con las nuevas modificaciones, este programa permite la simulación en tres dimensiones con medidas reales de vía y rejilla, se simulan 48 combinaciones con valores de caudales a escala real, así tenemos: 16.91lt/s, 47.85lt/s, 79.75lt/s, 111.65lt/s, se ingresa de igual forma pendiente transversal de 2 y 4 por ciento, pendiente longitudinal de 0.50, 4 y 12 por ciento. Para cada una de las 48 combinaciones el tiempo de simulación estimado está entre 15 y 20 horas.

Los resultados obtenidos al realizar las simulaciones indican que los sumideros tipo T45 para el modelo S2 con modificaciones en elevación y depresión tienen una mayor eficiencia hidráulica que el modelo S1 con modificaciones en elevación y depresión, con las condiciones geométricas adecuadas el modelo S2 puede ser utilizado en la vías urbanas para obtener una mayor captación hidráulica.

ABSTRACT

The present experimental work determines the hydraulic efficiency in the collection of rainwater in implanted drains in urban roads, adding new parameters with modifications such as elevation and depression of the T45 type grating.

Based on previous research carried out in physical models in a 1:4 tested scale in the hydraulics laboratories of the Faculty of Civil and Mechanical Engineering of the Technical University of Ambato, the flow values are obtained which will be entered in a fluid computational fluid dynamics software (CFD), in order to determine the efficiency of the drains with the new modifications, this program allows the simulation in three dimensions with real measurements of roadway and grating, 48 combinations are simulated with values of flow rates on a real scale, it is obtained: 16.91lt/s, 47.85lt/s, 79.75lt/s, 111.65lt/s, cross slope of 2 and 4 percent, longitudinal slope of 0.50, 4 and 12 percent are entered in the same way. The estimated simulation time for each of the 48 combinations is between 15 and 20 hours.

The obtained results when carrying out the simulations indicate that the T45 type drains for the S2 model with modifications in elevation and depression have a higher hydraulic efficiency than the S1 model with modifications in elevation and depression, with the appropriate geometric conditions the S2 model can be used on urban roads to obtain a greater hydraulic uptake.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

Los sumideros tienen por finalidad la captación y traslado de las aguas superficiales a la red. Además tienen la posibilidad de interceptar basuras, sedimentos y otros sólidos arrastrados por las aguas. Suelen situarse en arcones de calzada, en paramentos de acera, entre calzadas y aceras, o bien en canaletas perpendiculares a la línea de máxima pendiente de esorrentía. Su ubicación es imprescindible para el desagüe de puntos bajos. [1]

En todo el mundo existen épocas invernales que en consecuencia de su intensidad sobrepasan la capacidad de captación de sumideros, añadiendo el arrastre de basura también provoca taponamientos en los mismos, sumando la falta de mantenimiento nos da como resultado de todo lo indicado, inundaciones, que afectan a los ciudadanos.

En Barcelona – España en el 2017, se realizó un estudio sobre sumideros, su principal motivo explican fue que la lluvia al ser un fenómeno hidráulico que es habitual en ciertos períodos del año, no se lo ha analizado con profundidad, es por tal motivo que en este estudio se utiliza el software Flow-3D, obteniendo resultados favorables aplicados a diferentes escenarios. [2]

En 2018 en Curicó – Chile se realizó un estudio que permitió el diagnóstico del estado actual de los sumideros, ya que la lluvia puede generar inundaciones y afectar a los distintos elementos de la red, una verificación oportuna permite encontrar alguna

falencia que puede ser corregida a tiempo y así todos los elementos se encuentren en perfecto estado. [3]

También se ha realizado un estudio experimental sobre la ubicación de un sumidero sobre la vereda, este estudio fue realizado en Chile obteniendo resultados favorables, es más son más eficientes que los sumideros ubicados en la calle. [4]

En México señalan que debido al cambio climático que afecta a todo el mundo provoca vulnerabilidad y riesgo de ocurrencias de desastres, debido a que las precipitaciones pluviales pueden rebasar su capacidad de flujo y drenaje ocasionando inundaciones. [5]

Por lo expuesto anteriormente, en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato se realizó el “Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales” donde se comprueba una mayor eficiencia al colocar dos sumideros en serie ubicados en la calle pero se debe tener en cuenta la incidencia que tenga al tránsito vehicular, también se ha realizado una “ Modelación hidráulica para la determinación de la eficiencia de los sumideros tipo T45 modificado con barrotes circulares y barrotes longitudinales de aguas lluvias” en ambos casos se obtiene una mejor eficiencia y captación en las vías. [6] [7] [8] [9]

Es por eso que este trabajo es importante para poder evitar posibles inundaciones que se den por las épocas de invierno o por el cambio climático, con ayuda de la tecnología -que ha desarrollado software en los que se puede simular diferentes escenarios donde se calculará cual es el más eficiente y que es más Factible realizar y que se pueda diseñar y aplicar a la normativa vigente en el Ecuador.

1.1.2. Justificación

Partiendo de lo todo lo expuesto anteriormente esta investigación es importante porque podemos analizar y simular los diferentes escenarios posibles ante eventos de la naturaleza y podemos adecuar la ubicación sumideros, sugerir mayor capacidad de colectores.

Uno de los principales beneficios y al mismo tiempo inconveniente en nuestro país son las precipitaciones frecuentes, a causa de ello es común leer y escuchar en la prensa sobre inundaciones después de alguna precipitación fuerte, se estima que en un período de 5 años (2014-2019) se dieron 2268 inundaciones. [10]

Se puede citar hechos que se dan en varias ciudades del país que después de una precipitación los sumideros sobrepasan su capacidad, en adición por la acumulación de agua en las calles estas quedan intransitables, esto genera a su vez congestión vehicular por el arrastre de piedras, palos y basura en general, malestar entre los peatones, por otro lado esto provoca que el agua ingrese a ciertos hogares alterando su diario vivir. [11] [12]

La tecnología hoy en día es gran aliado en diferentes profesiones, en cuanto a ingeniería se trata se han diseñado programas computacionales que facilitan la realización de múltiples proyectos; está comenzando a tomar importancia la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en inglés). Los modelos CFD contribuyen al diseño de instalaciones y de dispositivos tecnológicos, así como a las posibles soluciones rápidas evitando la ejecución de numerosos y costosos experimentos, a su vez los CFD pueden pronosticar las propiedades del fluido y visualizar el comportamiento del mismo con mayor amplitud y certeza. [13]

Si al finalizar este trabajo experimental se obtienen resultados favorables se puede sugerir la inclusión en la actual norma vigente en nuestro país que podrían ayudar al mejoramiento a gran escala de los problemas que siempre se dan en una inundación.

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Análisis Hidrológico

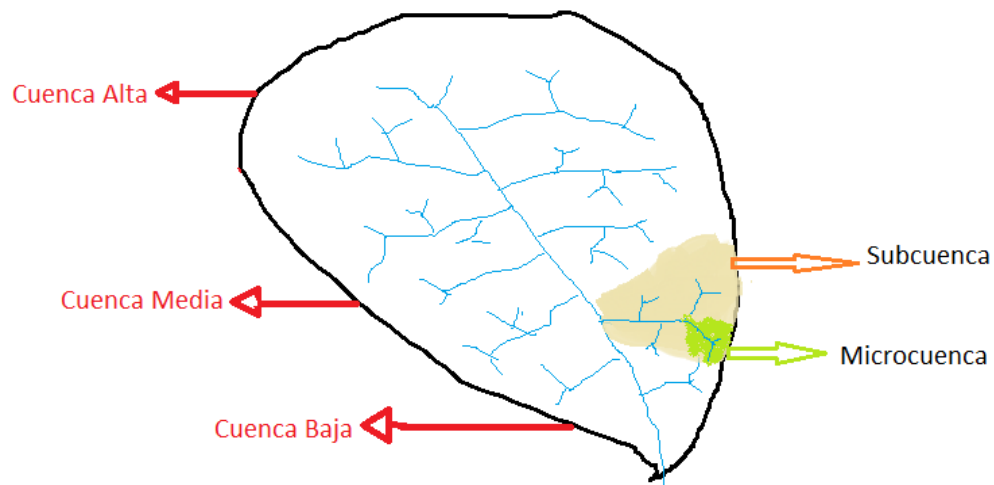
Un análisis hidrológico sirve para establecer los caudales máximos para los períodos de retorno de cuencas a estudiarse, teniendo en cuenta su superficie, pendiente y longitud, así como para precisar sus coeficientes de escorrentía y tiempo de concentración. [14]

Para un análisis hidrológico se debe analizar los siguientes aspectos:

- **Cuenca Hidrográfica**

Una cuenca hidrográfica es una demarcación de la superficie terrestre en donde las gotas de la precipitación caen sobre ella, tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un punto en común de salida. [15]

Figura 1: Esquema de una cuenca hidrográfica



Realizado por: Andrea Acosta

- **Área de drenaje**

Es la parte del terreno por el cual recorre el agua superficial y de precipitación hasta su desfogue. Se lo determina mediante diversos métodos y se lo expresa en kilómetros cuadrados (km^2) o hectáreas (Ha). [16]

- **Precipitación**

Las precipitaciones son el producto de una condensación del vapor de agua que se encuentra en la atmósfera y que se deposita en cualquier superficie de la tierra. Una precipitación puede producirse de maneras diferentes como lluvia, lluvia congelada, aguanieve, llovizna, granizo y nieve.

Un componente principal del ciclo hidrológico, es la precipitación, que es el principal responsable de depositar la mayor cantidad de agua dulce en el planeta. Aproximadamente 505000 km^3 de agua caen como precipitación cada año, eso quiere

decir que la precipitación anual promedio globalmente es de aproximadamente 1 m. [17]

- **Intensidad de Precipitación**

Se conoce como intensidad a la proporción de precipitación que cae en un determinado lugar durante un tiempo. La intensidad se expresa en milímetros sobre hora, puede expresarse como se aprecia en la ecuación 1. [18]

$$i = \frac{P}{t} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

i = Intensidad (mm/h)

P = Precipitación (mm)

t = Duración (h)

- **Frecuencia o Períodos de Retorno**

El período de retorno es la probabilidad de ocurrencia de un evento de igual o mayor precipitación. Es un parámetro de mucha importancia que se debe tomar muy en cuenta al momento de diseñar una obra hidráulica debido a que las obras serán destinadas a soportar esta probabilidad de ocurrencia. [18]

$$TR = \frac{1}{1 - P} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

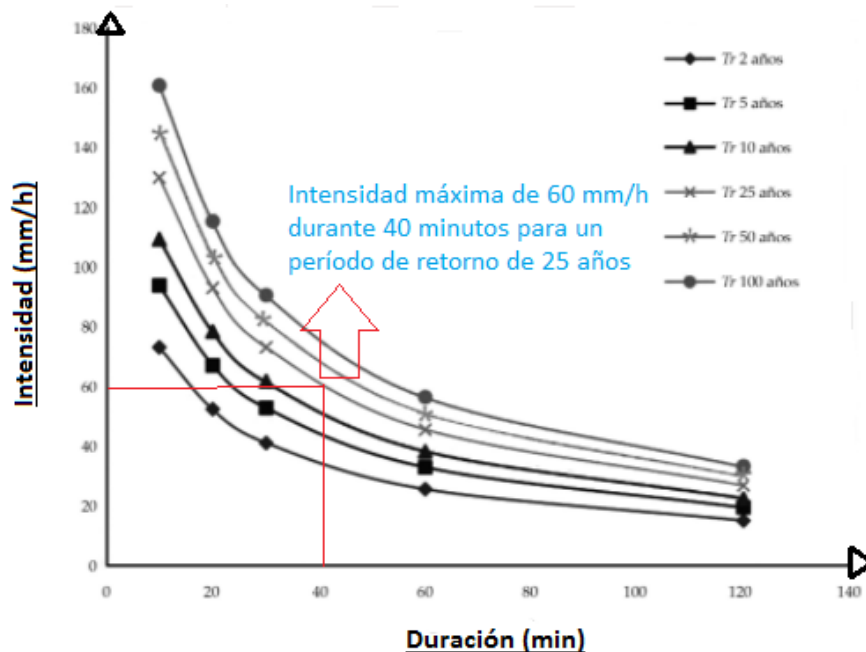
P = es la probabilidad de que el valor no sea igualado o no excedido.

- **Relación Intensidad, Duración y Frecuencia**

La curva Intensidad, Duración, Frecuencia, visualiza la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora, para una duración (D) determinada que usualmente puede ser 30, 60, 90 120 o 360 minutos y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia o frecuencia (F) expresada en años. [19]

Para la realización de las curvas IDF la información viene procedente de los pluviógrafos, este equipo pluviográfico registra cada evento de precipitación que ocurren durante el año, en forma diaria y horaria. Con estos registros podemos analizar los valores máximos y mínimos y proceder a graficarlos. [18]

Figura 2: Curva intensidad – duración - frecuencia



Fuente: IMTA [20]

A continuación se observa la ecuación general para determinar la intensidad máxima, que está dada por el INHAMI (2015) en el Ecuador y será utilizada debido a la zona en la que se aplicará este proyecto, que será Ambato

$$I = \frac{K * T^m}{t^n} \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde:

I = Intensidad (mm/h)

T = Período de retorno (años)

t = Tiempo de duración

K, m, n, = Son constantes de ajuste, propia de cada estación

A continuación se observan datos de la ubicación de la estación pluviográfica de Ambato, ya que este trabajo experimental se lo realizará en dicha ciudad.

Tabla 1: Ubicación de estación pluviográfica Ambato

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Serie de datos	Nº años	Institución
M0066	Ambato Aeropuerto	770553	9866876	2515	1962- 1984	23	DGAC

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [18]

Tabla 2. Ecuaciones IDF para estación pluviográfica Ambato

ESTACIÓN	INTERVALOS DE TIEMPO	ECUACIONES	R	R ²
NOMBRE	(minutos)			
AMBATO AEROPUERTO	5 < 30	$i = 95,7035 * T^{0,2644} * t^{-5192}$	0,9737	0,948
	30 < 120	$i = 226,883 * T^{0,2204} * t^{-7562}$	0,9897	0,9794
	120 < 1440	$i = 438,0411 * T^{0,1712} * t^{-2664}$	0,9983	0,9966

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [18]

- **Tiempo de Concentración**

Se define como el tiempo que tarda el agua para llegar desde el comienzo de la escorrentía hasta el punto más lejano o de salida de una cuenca.

El cálculo del tiempo de concentración es un factor a tener en consideración ya que se puede gestionar de forma eficiente su utilización para mejorar el aprovechamiento y preservación de los recursos hídricos que nos brinda la naturaleza. [21]

Los siguientes métodos nos permiten calcular el tiempo de concentración, son utilizados en cuencas hidrográficas, entre ellas:

Bransby – Williams [21]

$$T = \frac{L}{1.5D} \sqrt[5]{\frac{M^2}{F}} \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

T= Tiempo de concentración. (horas)

L= Distancia máxima a la salida. (km)

D= Diámetro del círculo de área. (km^2)

M= Área de la cuenca.

F = Pendiente media del cauce principal.

Kirpich [21]

$$T = 0.02L^{0.77}S^{-0.385} \quad \text{Ec. 5}$$

Dónde:

T= Tiempo de concentración (minutos)

L= Longitud máxima a la salida (metros)

S = Pendiente media de la cuenca (m/m)

Ventura – Heras [21]

$$tc = a \frac{S^{0.5}}{i} \quad (\text{Ec. 6}) \quad \text{Siendo } 0.05 \leq a \leq 0.5$$

Dónde:

tc = Tiempo de concentración (horas)

i = Pendiente media del cauce principal (%)

S = área de la cuenca (km^2)

L = Longitud del cauce principal (km)

a = distancia media $a = \frac{L}{\sqrt{S}}$

Passini [21]

$$t_c = a \frac{(SL)^{1/3}}{i^{0.5}} \quad (\text{Ec. 7}) \quad \text{siendo } 0.04 \leq a \leq 0.13$$

Dónde:

t_c = tiempo de concentración (h)

i = pendiente media del cauce principal (%)

S = área de la cuenca (km^2)

L = longitud de cauce principal (km)

a = distancia media $a = \frac{L}{\sqrt{S}}$

Dirección General de Carreteras [21]

$$t_c = 0.3 \left(\frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0.76} \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde:

t_c = tiempo de concentración (h)

J = pendiente media del cauce principal (H/L)

H = diferencia de nivel (m)

L = Longitud del cauce principal (km)

En la siguiente tabla se presentan coeficientes de escurrimiento para cuencas urbanas:

Tabla 3: Valores de escurrimiento para cuencas urbanas

TIPO DE ÁREA	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	
	MÍNIMO	MÁXIMO
Zonas Comerciales:		
Zonas Comercial	0.75	0.95
Zonas mercantiles	0.70	0.90
Vecindarios	0.50	0.70
Zonas Residenciales:		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares, espaciados	0.40	0.60
Multifamiliares, compactos	0.60	0.75
Semiurbana	0.25	0.40
Casas habitación	0.50	0.70
Zonas Industriales:		
Espaciado	0.50	0.80
Compacto	0.60	0.90
Cementerios y parques	0.10	0.25
Campos de juego	0.20	0.35
Patios de ferrocarril y terrenos sin construir	0.20	0.40
Zonas Urbanas	0.10	0.30
Calles:		
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.80	0.95
Adoquinadas o empedradas, juntadas con cemento	0.70	0.85
Adoquín sin juntar	0.50	0.70
Terracerías	0.25	0.6
Estacionamientos	0.75	0.85
Techados impermeables	0.75	0.95
Área boscosas	0.10	0.20

Fuente: Sistema Intermunicipal de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado [22]

- **Caudales Máximos de Crecida**

Los hidrogramas que son resultantes de lluvias aisladas importantes son los conocidos hidrogramas de crecidas. El estudio de estos hidrogramas de crecida son aprovechados para el diseño de aliviaderos de presas de embalse, predicción de avenidas, defensa contra inundaciones y otros. [23]

Se produce una crecida cuando existe una elevación mayormente rápida del nivel de agua hasta llegar a un nivel máximo, de ahí el nivel desciende a una velocidad menor. [24]

Para el cálculo de caudales máximo de crecida es mayormente utilizado el método racional que proporciona únicamente un caudal pico más no el hidrograma de creciente para el diseño. [25]

➤ **Método Racional**

Es uno de los métodos más utilizados para calcular los caudales máximos de crecida, este método es favorable para cuencas menores a 200 km^2 , esto se debe a la particularidad de las lluvias que hay en cada zona y debe ser una lluvia puntual para que se pueda considerar uniformemente distribuida en el área que se va a estudiar. [26]

A continuación se observa la ecuación del método racional.

$$Q = \frac{C * I * A}{360} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

I = Intensidad de lluvia (mm/h)

A = Área de escurrimiento (hectárea)

▪ Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la porción de agua de lluvia que se convierte en escorrentía superficial, esto sucede cuando el suelo se ha saturado al 100%. Para adoptar un valor de este coeficiente hay que tener en consideración la pérdida que se tenga debido a infiltraciones al suelo, evaporaciones, si la cuenca hidrográfica posee cobertura vegetal, su pendiente, su tipo de suelo. [27]

Existen diferentes tablas de varias investigaciones que se han realizado tanto en campo como en laboratorios, algunas tablas la podemos ver a continuación:

Tabla 4: Coeficiente de escorrentía – Zona Urbana

Descripción del área	Rango de C	Valor recomendado
Centro comercial	0,70 - 0,95	0,85
Periférico	0,50 - 0,70	0,60
Residencial		
Casas individuales	0,30 - 0,50	0,40
Deptos, Con espacios	0,40 - 0,60	0,50
Deptos. Pegados	0,60 - 0,75	0,70
Suburbano	0,25 - 0,40	0,35
Departamentos	0,50 - 0,70	0,60
Industrial		
Poco densa	0,50 - 0,80	0,65

Muy densa	0,60 - 0,90	0,75
Parques	0,10 - 0,25	0,20
Deportes	0,20 - 0,35	0,30
Baldíos	0,10 - 0,30	0,20
Carácter de la Superficie	Rango de C	Valor recomendado
Pavimento - Asfalto	0,70 - 0,95	0,85
Empedrado	0,75 - 0,85	0,80
Techos	0,75 - 0,95	0,85
Parques suelo arenoso		
0% - 2%	0,05 - 0,10	0,08
2% - 7%	0,10 - 0,15	0,13
Mayor 7%	0,15 - 0,20	0,18
Parques suelo pesado		
0% - 2%	0,13 - 0,17	0,15
2% - 7%	0,18 - 0,22	0,20
Mayor 7%	0,25 - 0,35	0,30

Fuente: Maldonado, Lenin [28]

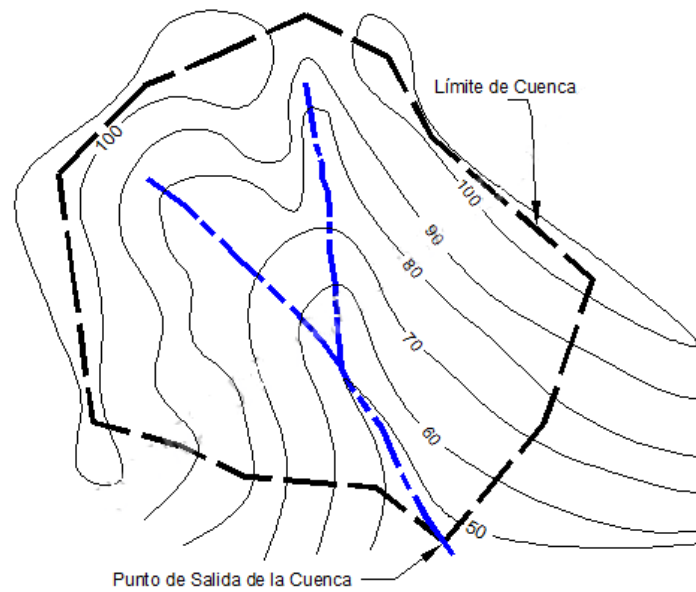
▪ **Intensidad Máxima**

La intensidad máxima se define a partir de las curvas IDF (Intensidad – Duración - Frecuencia), con estas curvas se obtiene una duración de diseño igual al tiempo de concentración de la cuenca y para una recurrencia determinada se obtendrá una intensidad media máxima. [29]

▪ **Área de drenaje**

Se define como el área que está encerrada geográficamente por las restricciones del aporte superficial del escurrimiento que proviene de las precipitaciones pluviales. [27]

Figura 3: Área de drenaje de una cuenca hidrográfica



Fuente: Tutoriales Ingeniería Civil [25]

1.1.3.2 Análisis Normativa Vial

1.1.3.2.1 Elementos generales del diseño de vías

Una red vial en óptimas condiciones permite la conectividad, crecimiento comercial, financiero e intercultural entre las diferentes poblaciones del país, por esto el Ministerio de Transporte y Obras Públicas ha desarrollado la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI) para que cada diseño vial cuente con altos estándares de calidad. [30]

Entre los diferentes elementos para un adecuado diseño vial tenemos:

❖ Topografía

Es un factor principalmente de ubicación física de la vía, ya que interfiere en el alineamiento horizontal, distancia de visibilidad, secciones transversales y pendientes.

Se puede clasificar en las siguientes categorías:

Tabla 5: Clasificación del tipo de topografía

TIPO DE TOPOGRAFÍA	PENDIENTE TRANSVERSAL	PENDIENTE LONGITUDINAL	OBSERVACIONES
PLANO	< 5%	< 3%	Mínimo movimiento de tierras, no existe dificultad en su trazado.
ONDULADO	6% - 12%	3% - 6%	Moderado movimiento de tierras, alineamientos casi rectos.
MONTAÑOSO	13% - 40%	6% - 8%	Grandes movimientos de tierras, construcción de puentes y estructuras, dificultad en el trazado.
ESCARPADO	>40%	>8%	Máximo movimiento de tierras, grandes dificultades en el trazado.

Fuente: MTOP [30]

❖ Tránsito

Para el diseño de una vía, el tránsito es un factor muy importante que se debe considerar, ya que así se conocerá el número real de vehículos y usuarios que circulan por esta. [30]

Para la obtención de los datos reales se debe tener en consideración los siguientes conceptos:

- a) **Tránsito promedio diario.-** Conocido también por sus siglas TPDA, es el tránsito que circula por la vía durante un año, dividido para 365; esto quiere decir que es el volumen de tránsito promedio por día.

- b) **Volumen de hora pico.**- Es el volumen de tránsito que circula por la vía en la hora con mayor flujo de usuarios.
- c) **Volumen horario de diseño.**- Representado como VHD, es el volumen horario para el cual se diseña la vía.
- d) **Proyección de tránsito.**- Al realizar una nueva vía se debe tomar en consideración el crecimiento de usuarios que se tengan a futuro.

❖ **Velocidad**

Para una vía un factor importante es la velocidad, ya que de esta depende el tiempo que les toma a los usuarios trasladarse de un lugar a otro, aunque se debe tomar muy en cuenta las características de la vía, condiciones de tiempo, límites de velocidad y la existencia de otros usuarios en la misma vía. [30]

❖ **Capacidad**

La capacidad de una carretera se refiere a la habilidad que posee una vía para ajustar el tránsito, entonces quiere decir que entre menos volumen de tránsito exista mayor será la maniobrabilidad del usuario. [30]

En la tabla 10 se observa la velocidad máxima de una carretera teniendo en cuenta la condición de flujo.

Tabla 6: Características de los niveles de servicio para carreteras de 2 carriles

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIÓN DE FLUJO	VELOCIDAD MÁXIMA DE CIRCULACIÓN	VOLUMEN DE SERVICIO
A	Flujo libre	100 km/h	50 vph
B	Flujo estable	80 km/h	1.200 vph
C	Flujo estable	65 km/h	2.000 vph
D	Flujo casi inestable	55 km/h	2.400 vph
E	Flujo inestable	45 km/h	2.800 vph
F	Flujo forzado	40 km/h	Variable (0 a máx)

Fuente: MTOP [30]

❖ **Tipo de Vías**

- **Corredores Arteriales.-** Son caminos de alta categoría de funcionalidad, son vías para viajes de larga distancia y de alta movilidad, sus estándares son mayores para proporcionar una fluidez de tráfico eficiente y segura.
- **Vías Colectoras.-** Caminos de mediana categoría de funcionalidad, estas vías recolectan el tráfico de zonas rurales.
- **Caminos Vecinales.-** Son vías de estándares básicos que no están incluidas en las vías ya mencionadas.

❖ Ancho de Calzada

Tabla 7: Ancho de Calzada

Tipo de Carretera	Ancho de la Calzada	
	Recomendable	Absoluto
R-I o R-II > 8000 TPDA	7.30	7.30
I 3000 a 8000 TPDA	7.30	7.30
II 1000 a 3000 TPDA	7.30	6.50
III 300 a 1000 TPDA	6.70	6.00
IV 100 a 300 TPDA	6.00	6.00
V < 100 TPDA	4.00	4.00

Fuente: MTOP [30]

RI y RII = Autopistas

I Y II = Carreteras Arteriales

I, II, III Y IV = Vías Colectoras

IV y V = Caminos Vecinales

Pendiente Transversal

Los carriles deben tener una sección transversal con pendientes entre 1.5% a 2%, en tramos en tangentes, cuando existan áreas con lluvias constantes se puede incrementar a 2.5% su pendiente transversal, para un efectivo drenaje. [30]

Tabla 8: Clasificación de pendientes transversales

CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES TRANSVERSALES	
Tipo de carretera	Gradiente Transversal (%)
R-I o R-II > 8000 TPDA	1.5 - 2
I 3000 a 8000 TPDA	1.5 - 2
II 1000 a 3000 TPDA	2
III 300 a 1000 TPDA	2
IV 100 a 300 TPDA	2.5 - 4
V < 100 TPDA	4

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras [31]

Pendiente Longitudinal

Para una pendiente longitudinal es importante la eficiencia de operación de los vehículos, puesto que si una pendiente es mayor el costo de transporte también aumenta y viceversa. [32]

Tabla 9: Valores de Pendiente Longitudinal

CATEGORÍA	RECOMENDABLE (%)			MÁXIMO (%)		
Clase de vía	LL	O	M	LL	O	M
I	3	4	6	3	5	7
II	3	4	6	4	6	8
III	3	5	7	4	7	9
IV	4	6	8	6	8	10
V	4	6	8	6	8	12

Fuente: Universidad Técnica de Ambato [32]

1.1.3.3 Análisis Hidráulico

Hidráulica de Canales

Uno de los elementos esenciales para la supervivencia de los seres humanos, es el agua, para que este líquido vital llegue de un lugar a otro el hombre se las ha ingeniado y ha usado canales para cumplir ese objetivo. [33]

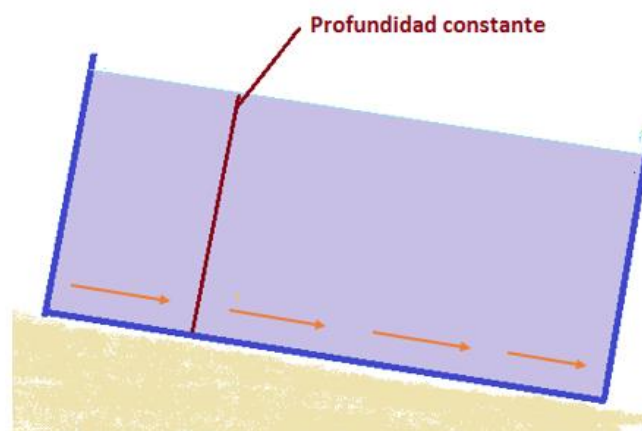
Los canales son conductos cerrados o abiertos por los cuales circula el agua con ayuda únicamente de la gravedad y del peso propio de la misma.

Tipos de flujo

a) Flujo Permanente

A este flujo también se lo conoce como estacionario, debido a que la velocidad de escurrimiento en todo su recorrido se mantiene constante. [34]

Figura 4: Flujo Permanente

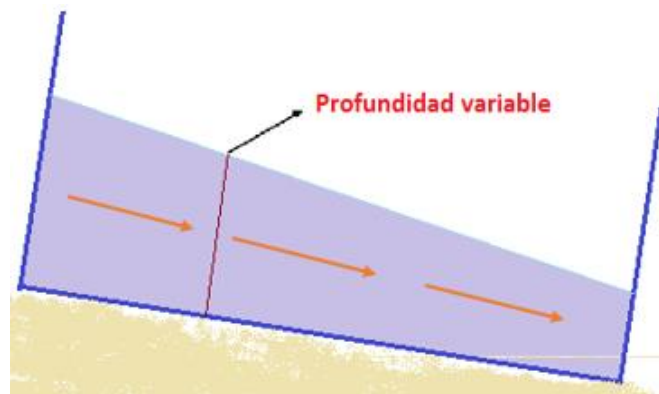


Realizado por: Andrea Acosta

b) Flujo no Permanente

Por lo general este tipo de flujo tiene características mecánicas y propiedades diferentes de un punto hacia otro. [34]

Figura 5: Flujo no Permanente



Realizado por: Andrea Acosta

c) Flujo Uniforme

Es un tipo de flujo poco común debido a que la velocidad de flujo debe mantenerse constante en todo el recorrido. [34]

Además aquí la profundidad del canal se mantiene igual a lo largo de todo su trayecto.

Figura 6: Flujo Uniforme



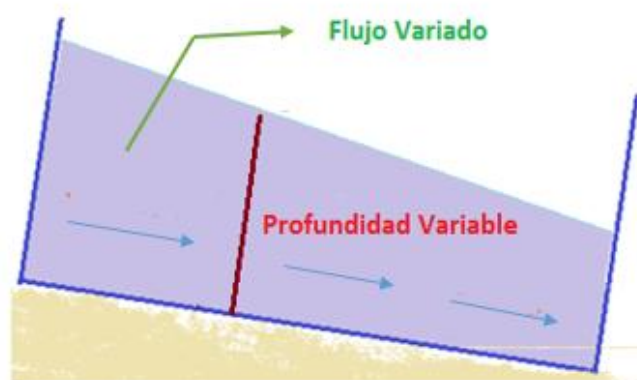
Realizado por: Andrea Acosta

d) Flujo no Uniforme

Contrario al flujo uniforme, este tipo de flujo no mantiene su velocidad constante, su sección transversal también influye ya que es variable.

La profundidad del canal en este tipo de flujo varía según avanza su camino hasta su destino.

Figura 7: Flujo no Uniforme

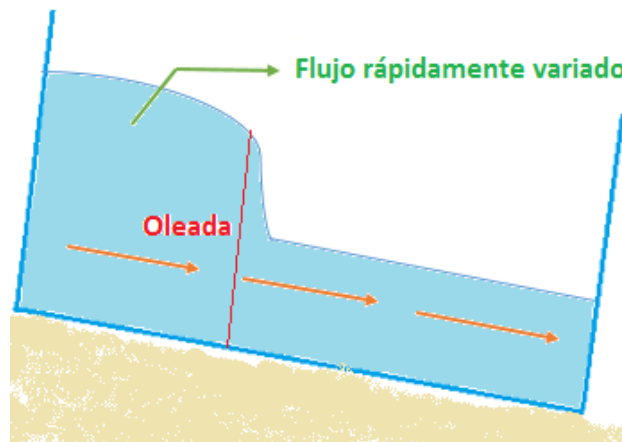


Realizado por: Andrea Acosta

e) Flujo Rápidamente Variado

Si la profundidad del agua en el canal varía de forma rápida en distancias relativamente cortas, se dice que es un flujo rápidamente variado, un ejemplo práctico es un resalto hidráulico. [33]

Figura 8: Flujo rápidamente variado

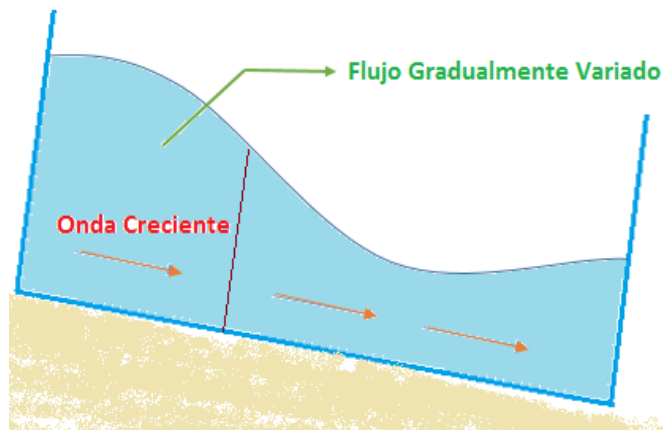


Realizado por: Andrea Acosta

f) Flujo Gradualmente Variado

Es un flujo gradualmente variado cuando las características del canal van cambiando de manera paulatina. [33]

Figura 9: Flujo gradualmente variado



Realizado por: Andrea Acosta

Estados de Flujo

▪ Número de Reynolds

El número de Reynolds viene dado por efecto de la viscosidad en relación con la inercia. [33]

$$Re = \frac{4 * V * R}{\mu} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

V = velocidad media del flujo (m/s)

L = longitud (m)

μ = viscosidad cinemática del agua (m^2/s)

Los valores del número de Reynolds tienen límites, tenemos:

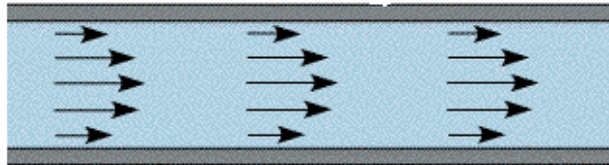
- **Flujo Laminar**

El movimiento de las partículas del fluido son bastantes regulares. [34]

$$Re < 2000 \quad \text{Ec. 11}$$

Figura 10: Flujo laminar

Flujo Laminar



Fuente: Hidráulica de Canales [35]

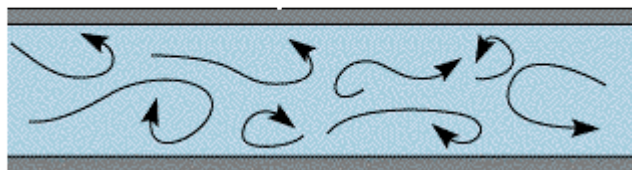
- **Flujo Turbulento**

Este flujo se presenta con una trayectoria irregular, sin un orden establecido. [34]

$$Re > 4000 \quad \text{Ec. 12}$$

Figura 11: Flujo turbulento

Flujo Turbulento

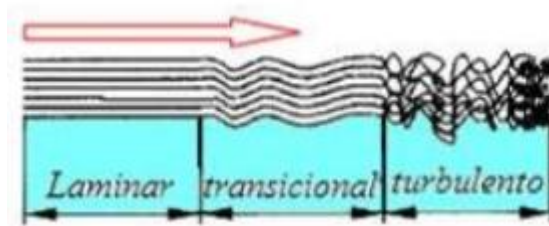


Fuente: Hidráulica de Canales [35]

- **Flujo de Transición**

$$2000 < Re < 4000 \quad \text{Ec. 13}$$

Figura 12: Flujo de transición



Fuente: Número de Reynolds [36]

Regímenes de Flujo

- **Energía Específica**

La energía específica es igual a la suma de la profundidad del agua más la altura de la velocidad en una sección de un canal. [37]

A continuación se observa la ecuación de la energía específica.

$$E = y + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 14}$$

Dónde:

E = energía específica

y = profundidad de flujo

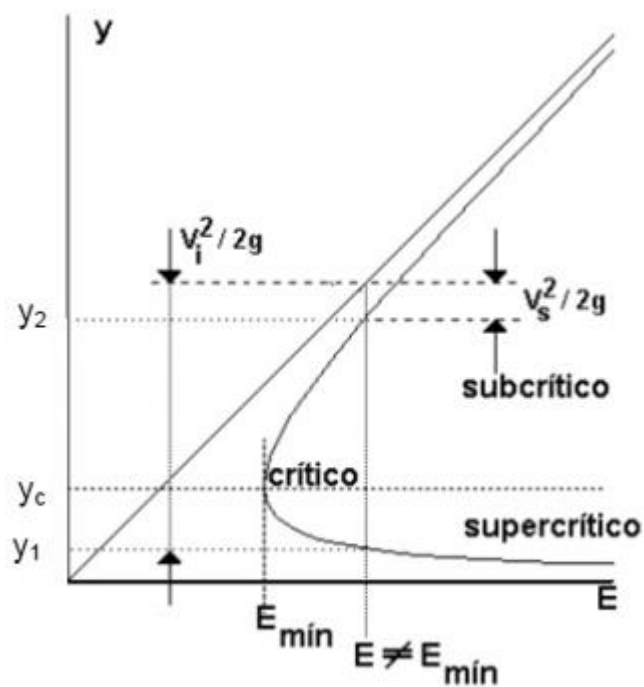
α = coeficiente de corrección de Coriolis

V = velocidad

g = gravedad

En el siguiente gráfico se puede observar que cuando el resultado del cálculo del flujo sobrepase la línea crítica obtendremos un flujo subcrítico, si se obtiene un valor bajo la línea crítica será un flujo supercrítico y cuando coincida la línea crítica será un flujo crítico.

Figura 13: Curva de Energía Específica



Fuente: Naranjo, Manuel [37]

- **Número de Froude**

Representa un parámetro de efecto gravitacional, que se expresa de forma adimensional, valor útil para el cálculo del resalto hidráulico. [38]

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * D}} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

V = velocidad (m/s)

g = gravedad (m/s^2)

D = profundidad (m)

- **Flujo Crítico**

Para este régimen de flujo existe una unión de fuerzas entre la inercial y gravitacional, este flujo se vuelve inestable, se puede decir que es un flujo intermedio y variable entre los otros tipos de flujos, para este flujo el número de Froude es igual a 1. ($Fr = 1$) [39]

- **Flujo Sub - Crítico**

Para esta clase de flujo las fuerzas gravitacionales son mayores a las fuerzas de inercia, aquí las pendientes y velocidades son bajas. El número de Froude es menor a 1. ($Fr < 1$) [39]

- **Flujo Supercrítico**

Para esta clase de flujo tenemos que las fuerzas gravitacionales son mucho menores que a las fuerzas de inercia, en este flujo las velocidades y pendientes con altas con profundidades pequeñas. El número de Froude es mayor a 1. ($Fr > 1$) [39]

- **Ecuación de Conservación de Energía**

La energía cuando se asocia, en este caso con energía cinética, calor, potencial gravitacional puede cambiar de forma, pero seguirá siendo la misma si se conserva. [40]

$$E_{ki} + U_{gi} + U_{si} = E_{kf} + U_{gf} + U_{sf} + E_{Hf} \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

E_k = Energía cinética

U_g = Energía potencial gravitacional

U_s = Energía potencial elástica

E_H = Energía térmica

- **Ecuación de Cantidad de Movimiento**

Conocida también como momento lineal, es una relación entre la masa y la velocidad, es decir una magnitud vectorial. [41]

$$p = m \cdot v \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

p = Momento lineal $(kg \cdot m/s)$

m = masa (kg)

v = velocidad (m/s)

- **Ecuación de Continuidad**

Esta ecuación trata acerca de la relación existente entre la velocidad y el área que tiene un fluido, indica que el caudal de un fluido es constante a lo largo de su trayecto. [42]

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

A = área transversal del canal (m^2)

Q = Flujo circulante en el área del canal (m^3/s)

q = Flujo entrante y saliente (m^2/s)

- **Ecuación de Momentum**

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \frac{Q^2}{A}}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA (S_f + S_o) = qV \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

A = área transversal del canal (m^2)

Q = Flujo circulante en el área del canal (m^3/s)

V = Velocidad de flujo (m/s)

q = Flujo entrante y saliente (m^2/s)

y = caída hidráulica (m)

S_o = pendiente del fondo del canal

S_f = pendiente de fricción

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

Introducción a los Modelos Hidráulicos

- **Análisis Dimensional (Modelos CFD)**

La dinámica de fluidos computacional, representa un gran avance y ayuda en diferentes profesiones, tiene una dimensionalidad enorme el poder utilizar estos modelos, ya que se utilizan computadoras para realizar los cálculos necesarios, esto ayuda con mayor precisión y velocidad la simulación de diferentes escenarios. [43]

- **Diferencias entre modelos físicos y numéricos**

Los modelos físicos son la materialización de los proyectos en sí, existen las maquetas y prototipos, las maquetas en si permiten apreciar cómo será el resultado final de una estructura o de cualquier tipo de producto; en cambio un prototipo se lo construye para probar su funcionalidad y mantenimiento.

Los modelos numéricos señalan las relaciones en términos de fórmulas para simular el comportamiento de un material [44]

- **Tipos de modelos numéricos (1D, 2D, 3D)**

Modelo Unidimensional (1D)

Un modelo unidimensional es idóneo para la examinación de un perfil de flujo que se extiende a lo largo de la zona de estudio. [45]

Modelo Bidimensional (2D)

Este modelo es conocido también como flujo plano, las partículas circulan en planos paralelos, en estos planos no existe variación de flujo. [45]

Modelo Tridimensional (3D)

Este tipo de modelo se lo utiliza para una representación de un flujo más complejo, viene determinado en tres componentes espaciales. [45]

- **Método de Elementos Finitos**

El Método de Elementos Finitos (MEF) es un método numérico que se emplea para la resolución de múltiples problemas multifísicos, lo que hace este método es dividir un dominio continuo por un dominio discreto.

- **Método de Volúmenes Finitos**

Es el método más utilizado en dinámica de fluidos computacional, ya que trata a los objetos como una malla y se puede estudiar un pequeño volumen del elemento, cada uno de estos elementos está rodeado de puntos llamados nodos. [46]

1.1.4. Hipótesis

HIPOTESIS ALTERNA

La geometría de sumideros de agua lluvia con modificaciones en elevación y depresión, con pendiente longitudinal tanto como transversal de la vía y caudal de escorrentía superficial representados en un modelo numérico influye en la eficiencia de captación de aguas lluvia.

HIPOTESIS NULA

La geometría de sumideros de agua lluvia con modificaciones en elevación y depresión, con pendiente longitudinal tanto como transversal de la vía y caudal de escorrentía superficial representados en un modelo numérico no influye en la eficiencia de captación de aguas lluvia.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar la eficiencia hidráulica en la captación de agua en sumideros asentados en vías urbanas mediante la aplicación de un modelo numérico.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar un modelo numérico que sea de mayor eficiencia a los sumideros existentes de la normativa actual.
- Comparar diferentes sumideros en cuanto a eficiencia hidráulica se trata, basándose en investigaciones previas.
- Conocer nuevas configuraciones de sumideros, que según su eficiencia se puedan considerar como una opción de implementación en la normativa actual.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para el desarrollo del presente proyecto experimental se utilizará un software de aplicación de mecánica de fluidos computacional (CFD), este tipo de software permite la solución de simulaciones de superficie libre, por su facilidad de uso se lo utiliza en diferentes campos profesionales como la automotriz, aeroespacial, marítima, energética [47]. Tiene un sistema completo que permite el análisis tridimensional de los modelos mediante mallado que permite obtener datos más confiables. Los principios generales de funcionamiento son por diferencias, volúmenes y elementos finitos.

La ecuación principal en este tipo de software es la de Navier – Stokes que aborda principalmente el comportamiento del fluido tanto en tiempo como en el espacio, su resolución se la realiza con diferencias finitas y volúmenes finitos.

Para su resolución se realiza mediante la aplicación del método de elementos finitos, que se basa en la discretización del dominio obteniendo un número finito de elementos, cada elemento finito está conectado por puntos denominados nodos, al conjunto de elementos y nodos se lo denomina malla. La precisión de este método estará basado a la cantidad y dimensión de elementos y nodos. [48]

Uno de las principales propiedades de este método es que a mayor número de elementos se tiene mayor precisión en los resultados pero también se tiene un mayor costo computacional.

2.2. Métodos

2.2.1. Nivel o tipo de investigación

El trabajo experimental presentando está basado en los siguientes tipos de investigación:

- **Investigación Exploratoria**

La investigación se la realiza a modelos de sumideros tipo T45 partiendo de la Noma Ecuatoriana Vial (NEVI -12).

- **Investigación Descriptiva**

La investigación ayuda a establecer la eficiencia de los sumideros utilizando programas computacionales y en base a investigaciones previas se utilizaran fórmulas y métodos ya descritos en el capítulo I (Marco Teórico) del presente trabajo experimental.

- **Investigación Explicativa**

La investigación permite el análisis de las características del canal, como son pendiente transversal, pendiente longitudinal, también otras características como el caudal que circulará en este.

- **Investigación Correlacional**

La investigación permitirá el análisis entre los datos obtenidos de investigaciones previas con los datos que se obtendrán mediante la aplicación del software de mecánica de fluidos.

2.2.2. Población y muestra

2.2.2.1. Población

La población se ha determinado dependiendo de la geometría de vía (pendiente transversal y pendiente longitudinal), nivel (depresión o elevación), tipo de sumidero, caudal de entrada, teniendo así 36 combinaciones posibles.

En la tabla 10 se observan las combinaciones seleccionadas para la población:

Tabla 10: Combinaciones con pendientes transversal y longitudinal.

Pendiente Transversal	Pendiente Longitudinal	Combinaciones
1.5%	3%	(1.5-2-2.5-4); (3)
	4%	(1.5-2-2.5-4); (4)
2%	5%	(1.5-2-2.5-4); (5)
	6%	(1.5-2-2.5-4); (6)
2.5%	7%	(1.5-2-2.5-4); (7)
	8%	(1.5-2-2.5-4); (8)
4%	9%	(1.5-2-2.5-4); (9)
	10%	(1.5-2-2.5-4); (10)
	12%	(1.5-2-2.5-4); (12)

Fuente: Modelación hidráulica para la determinación de la eficiencia de los sumideros de aguas lluvia [9]

2.2.2.2. Muestra

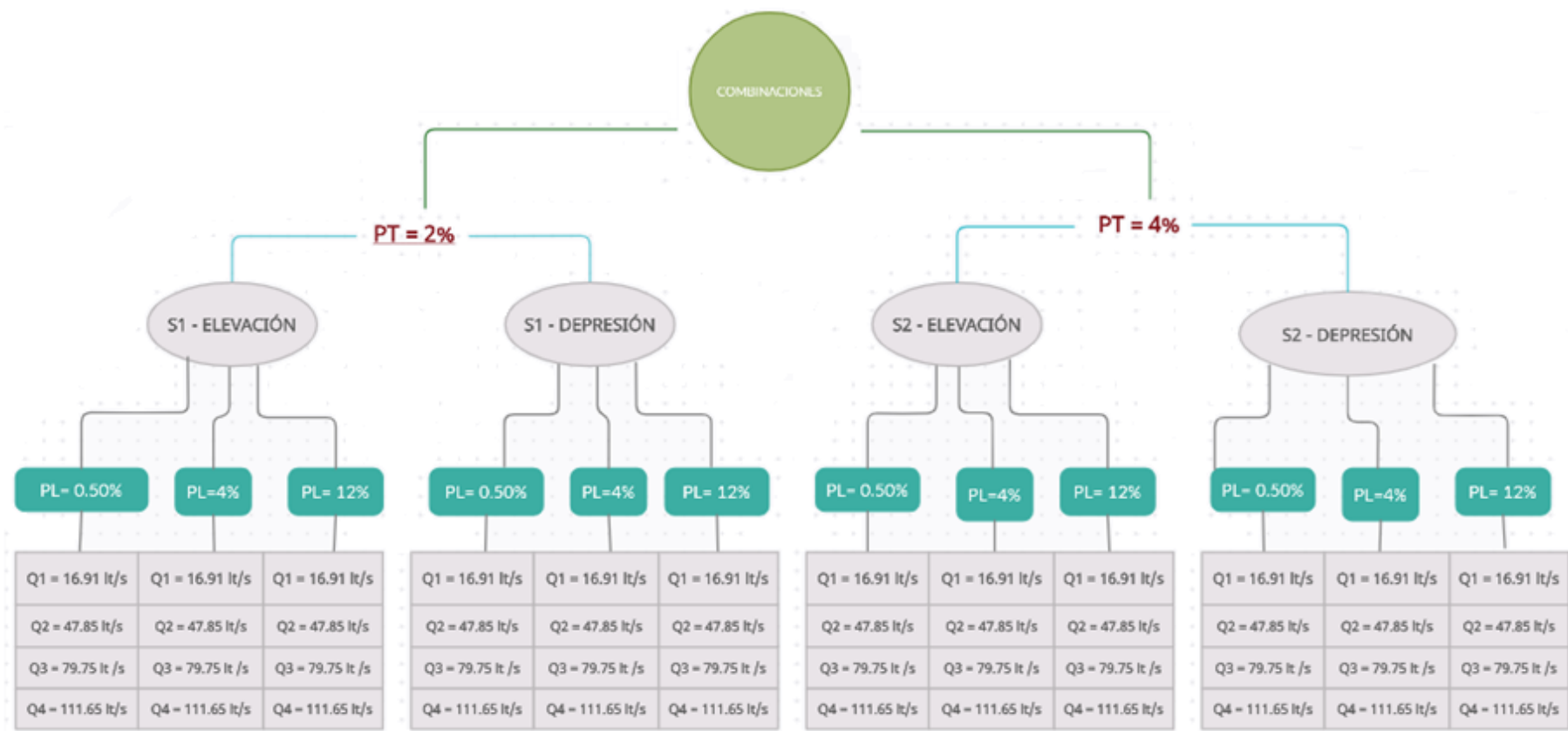
En este trabajo experimental se ha tomado como muestra 6 combinaciones a modelar teniendo en cuenta sus pendiente, número de sumideros y sus niveles.

Tabla 11: Combinaciones seleccionadas para la muestra.

Pendiente Transversal	Pendiente Longitudinal	Combinaciones
2,00%	0.5%	(2% - 0.5%)
	4%	(2% - 4%)
	12%	(2% - 12%)
4,00%	0.5%	(4% - 0.5%)
	4%	(4% - 4%)
	12%	(4% - 12%)

Fuente: Modelación hidráulica para la determinación de la eficiencia de los sumideros de aguas lluvia. [9]

Figura 14: Diagrama de combinaciones totales a utilizarse para las simulaciones.



Realizado por: Andrea Acosta

2.2.3 Plan de recolección de información

Se observa el proceso llevado a cabo para la obtención de los datos de la modelación numérica.

- Presentación general del modelo a realizarse en la presente investigación.
- Determinación de la geometría de sumidero.
- Ingreso de valores a utilizarse en el modelo.
- Visualización de los datos de caudal obtenidos en la modelación de sumidero tipo T45.
- Calibración del modelo propuesto para la presente investigación con resultados de estudios previos.
- Renderización de los modelos más representativos que se han obtenido del programa CFD.

2.2.4. Plan de procesamiento y análisis

- Descripción del proceso que se realizó para la obtención de resultados de las simulaciones.
- Cálculo de la eficiencia hidráulica de captación de un escenario de la presente investigación y comparación con la eficiencia hidráulica de un escenario de una investigación previa.
- Cálculo de la eficiencia hidráulica de captación para cada de las configuraciones.
- Análisis de escenarios que dispongan de las mismas condiciones de pendiente transversal con uno o dos sumideros tanto como es en depresión y elevación.
- Comparación de eficiencias de captación hidráulica entre uno y dos sumideros.
- Correlación matemática que más proximidad tenga al comportamiento de cada resultado obtenido.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

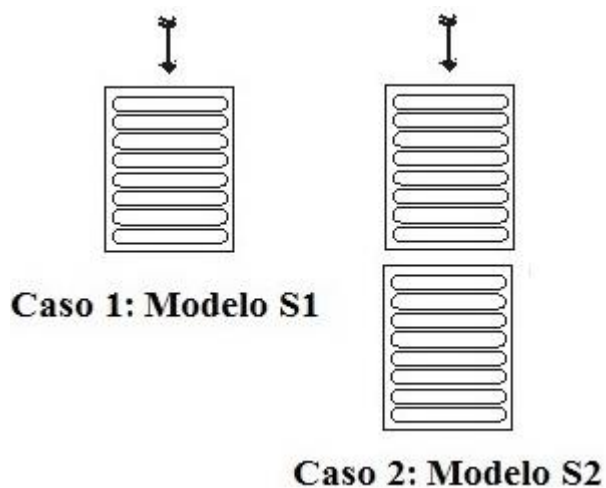
3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Presentación general del modelo

Investigaciones previas

En investigaciones previas [6] [9], se realiza un modelo a escala del proyecto, en dichos modelos se puede apreciar la ubicación y tipo de sumidero que se utilizó, en este trabajo experimental se utilizará el mismo tipo de sumidero con cambios como es en elevación y depresión para comprobar la efectividad de estos sumideros.

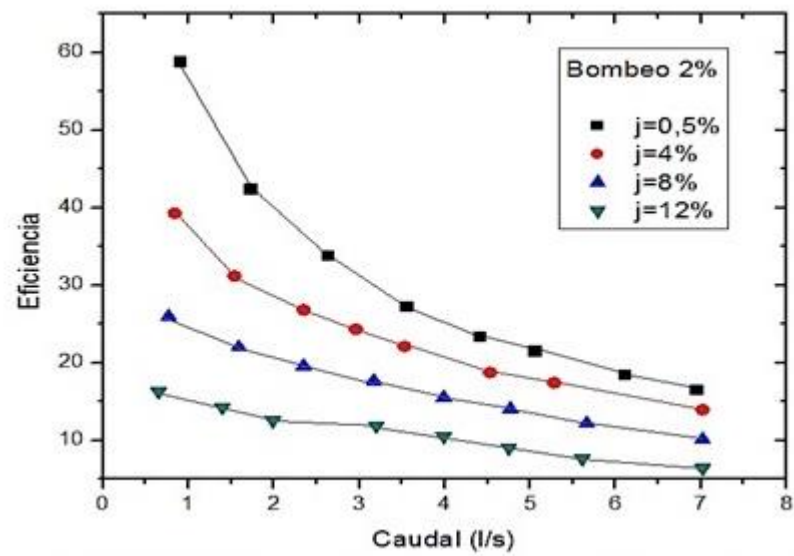
Figura 15: Modelo de sumideros tipo T45



Fuente: Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales. [6]

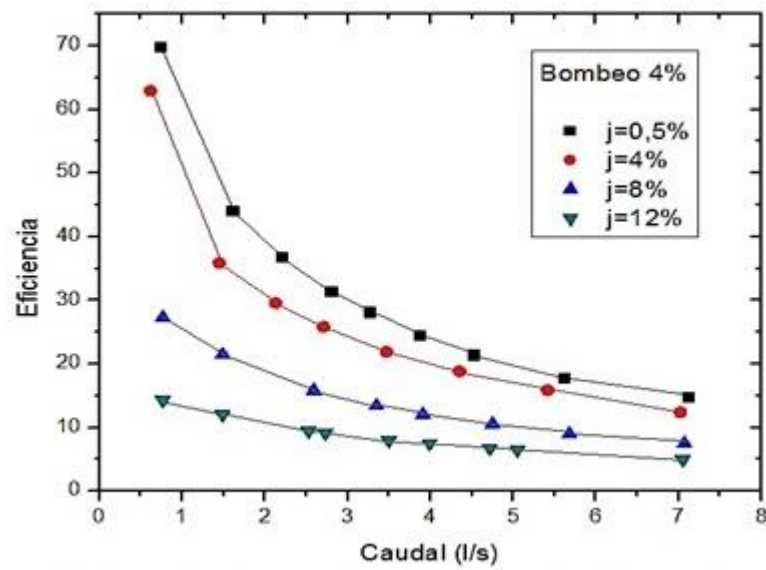
En las siguientes figuras se puede apreciar un resumen en gráficas de los resultados de la eficiencia de captación para los tipos de sumideros del trabajo experimental previamente indicado.

Figura 16: Eficiencia de captación vs Caudal, modelo S1, bombeo 2%



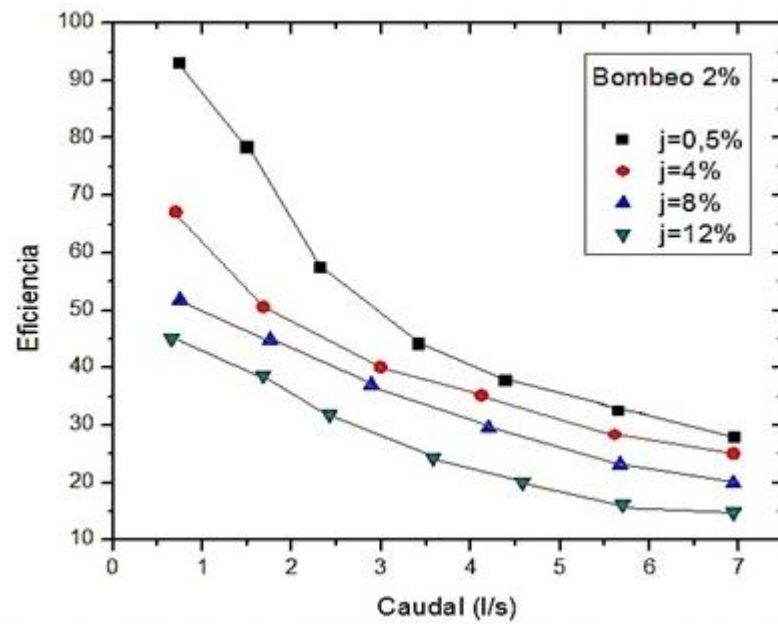
Fuente: Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales [6]

Figura 17: Eficiencia de captación vs Caudal, modelo S1, bombeo 4%



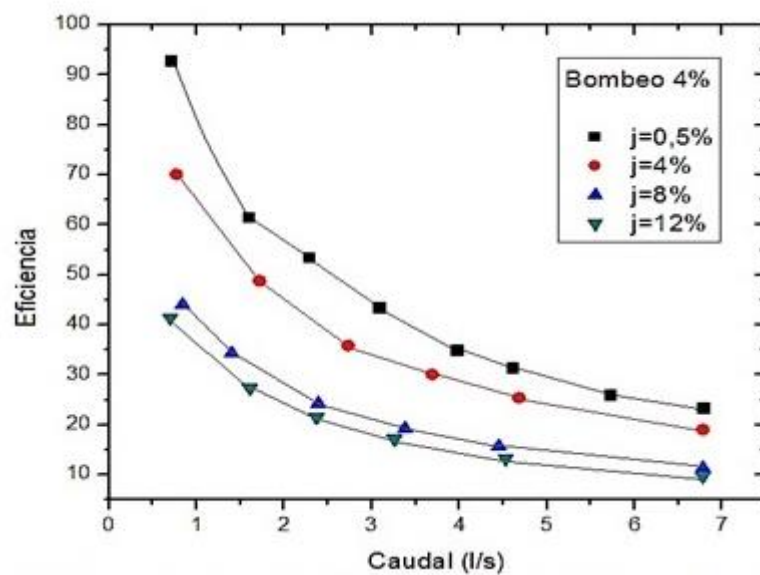
Fuente: Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales. [6]

Figura 18: Eficiencia de captación vs Caudal, modelo S2, bombeo 2%



Fuente: Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales. [6]

Figura 19: Eficiencia de captación vs Caudal, modelo S2, bombeo 4%



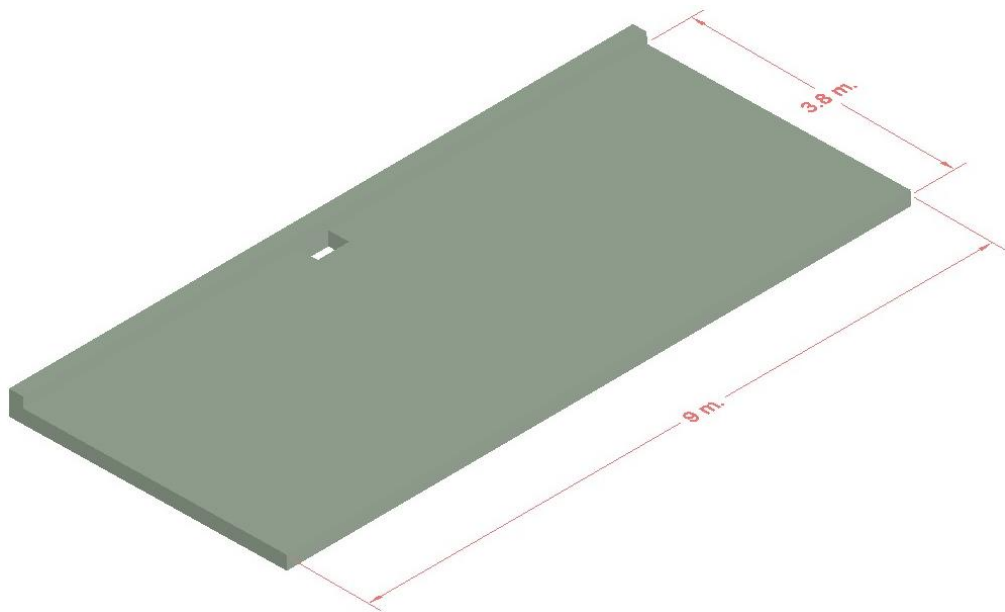
Fuente: Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales. [6]

3.1.2 Determinación de la geometría del modelo

Vía

Para el presente trabajo experimental se simula una media vía de 3.8m de ancho, 9m de largo y un espesor de 1m (se realiza este espesor para evitar perdida de agua al momento de realizar la simulación) como se aprecia en la figura 19, esta vía tiene pendiente longitudinal que va entre 0.5%, 4%, 12% y pendiente transversal de 2% y 4%

Figura 20: Modelo de media vía con variación en pendiente longitudinal y transversal

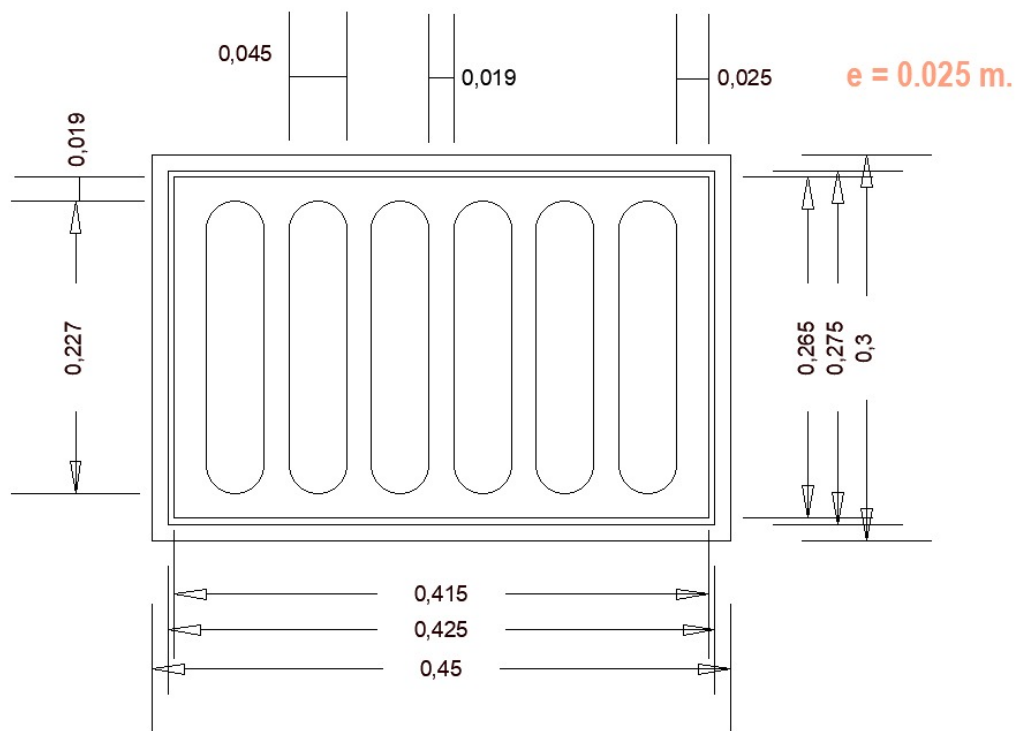


Realizado por: Andrea Acosta

Sumidero tipo T45

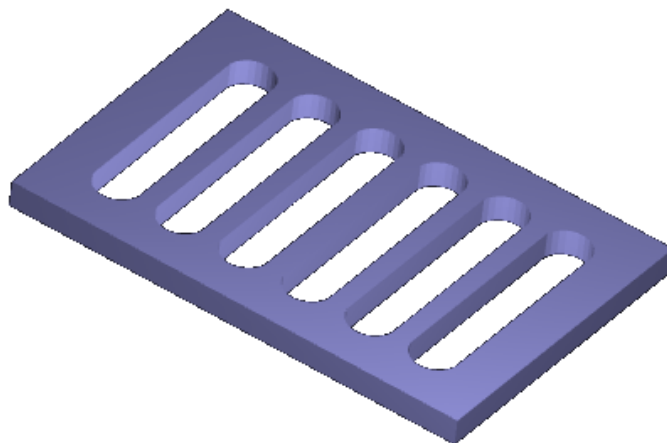
El sumidero será el encargado de captar el agua proveniente de la vía, sus dimensiones se aprecian en la figura 20.

Figura 21: Dimensiones de sumidero tipo T45 expresado en metros.



Realizado por: Andrea Acosta

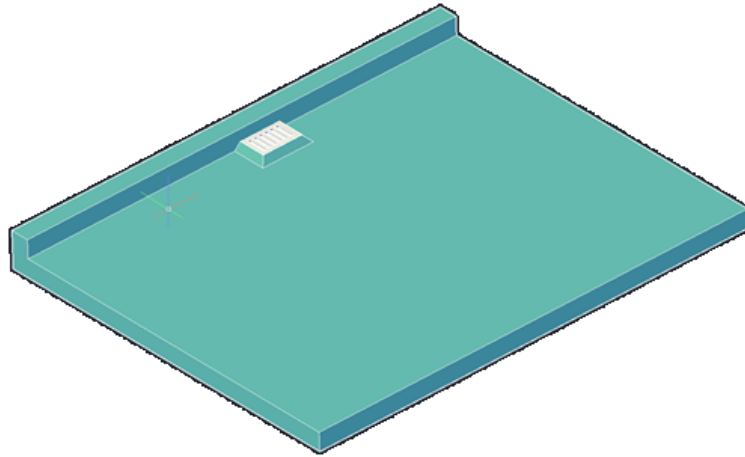
Figura 22: Modelo de sumidero tipo T45 en vista 3D



Realizado por: Andrea Acosta

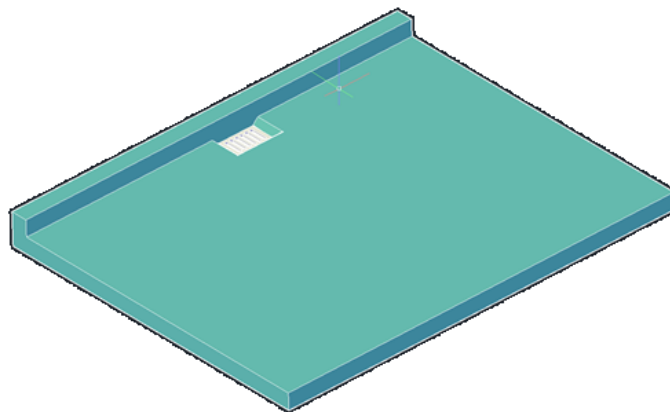
El sumidero tipo T45 se lo ubicará en la vía como se señala en las figuras de la 22 a 25, esto será para el modelo S1 y modelo S2 tanto en elevación como en depresión.

Figura 23: Modelo S1 en elevación, media vía



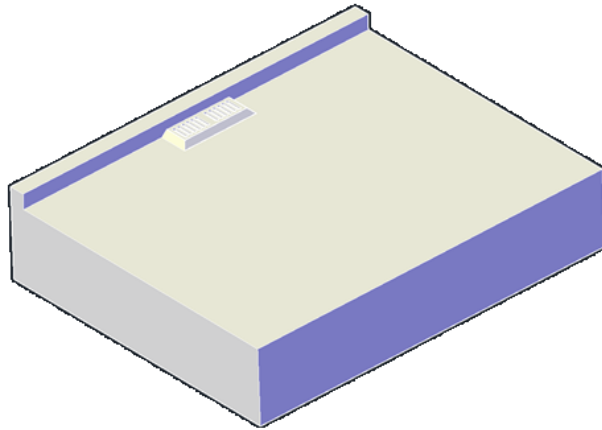
Realizado por: Andrea Acosta

Figura 24: Modelo S1 depresión, media vía



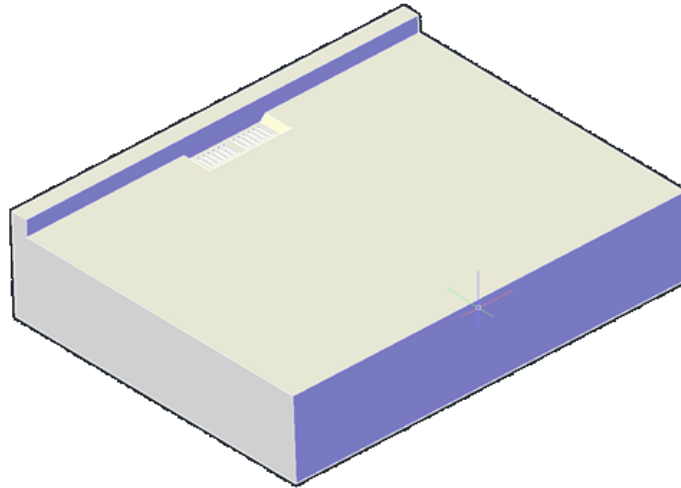
Realizado por: Andrea Acosta

Figura 25: Modelo S2 en elevación, media vía



Realizado por: Andrea Acosta

Figura 26: Modelo S2 en depresión, media vía



Realizado por: Andrea Acosta

3.1.3. Valores a utilizarse en el modelo

Condiciones de fluido

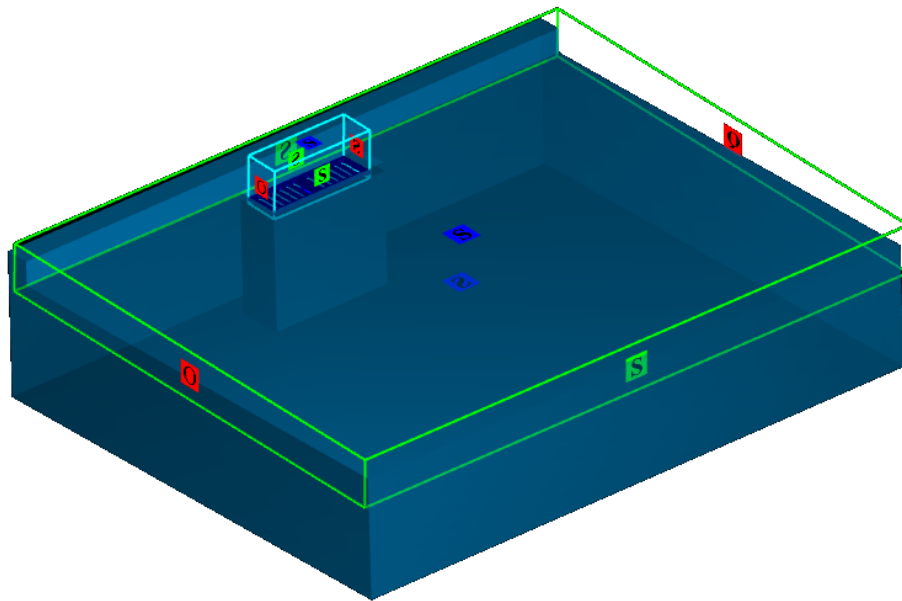
El fluido que se utilizó para la simulación es agua, con una temperatura promedio de 20°C, con una viscosidad de $0.001003 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

Condiciones de borde

Son restricciones que se le pueden aplicar a cada contorno o borde del modelo, esto permite aplicar diferentes condiciones al fluido (simétrico, turbulento, continuo, etc.) el lugar por donde el fluido ingresará o saldrá del modelo.

El mismo programa CFD da las opciones que se pueden elegir al momento de asignar estas condiciones de borde al modelo.

Figura 27: Condiciones de borde utilizadas para el modelo



Realizado por: Andrea Acosta

Donde:

O = outflow (salida del fluido)

Q = Lugar por donde ingresa el caudal

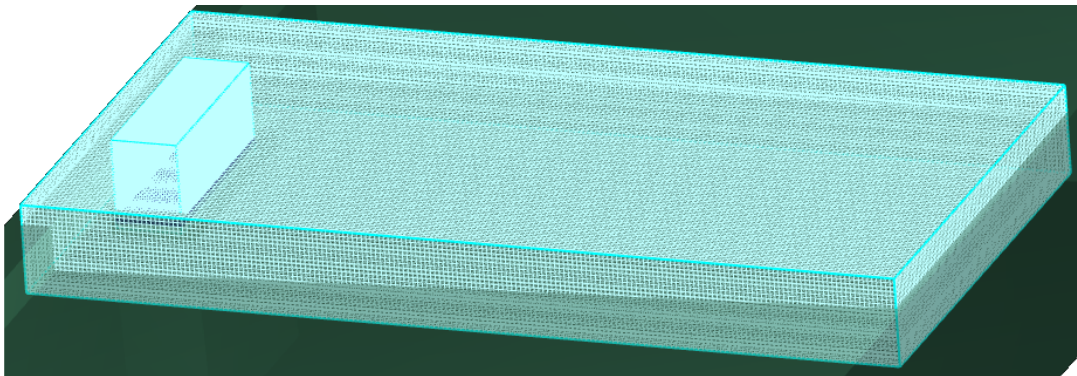
S = Simetría

Condiciones de mallado

Para que se dé un mallado efectivo y sin mayores errores, este debe ser lo más simétrico posible, para este modelo se realizó dos mallas, una para la vía de 2cm, como se observa en la figura 27 y otra para el sumidero de 1cm como se aprecia en la figura 28, no se puede realizar un solo mallado para vía y sumidero debido al tipo de material que se compone cada uno.

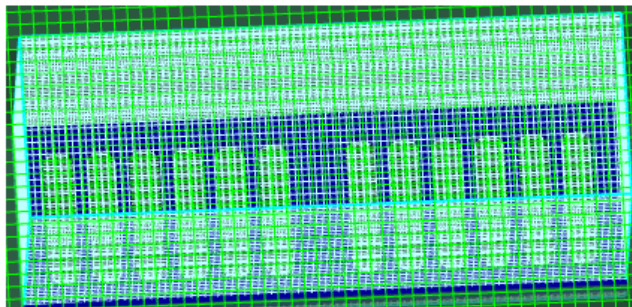
Se debe tener en consideración que a menor mallado, se obtendrán mejores resultados, pero el coste computacional será elevado.

Figura 28: Mallado de media vía



Realizado por: Andrea Acosta

Figura 29: Condiciones de mallado para sumidero tipo T45



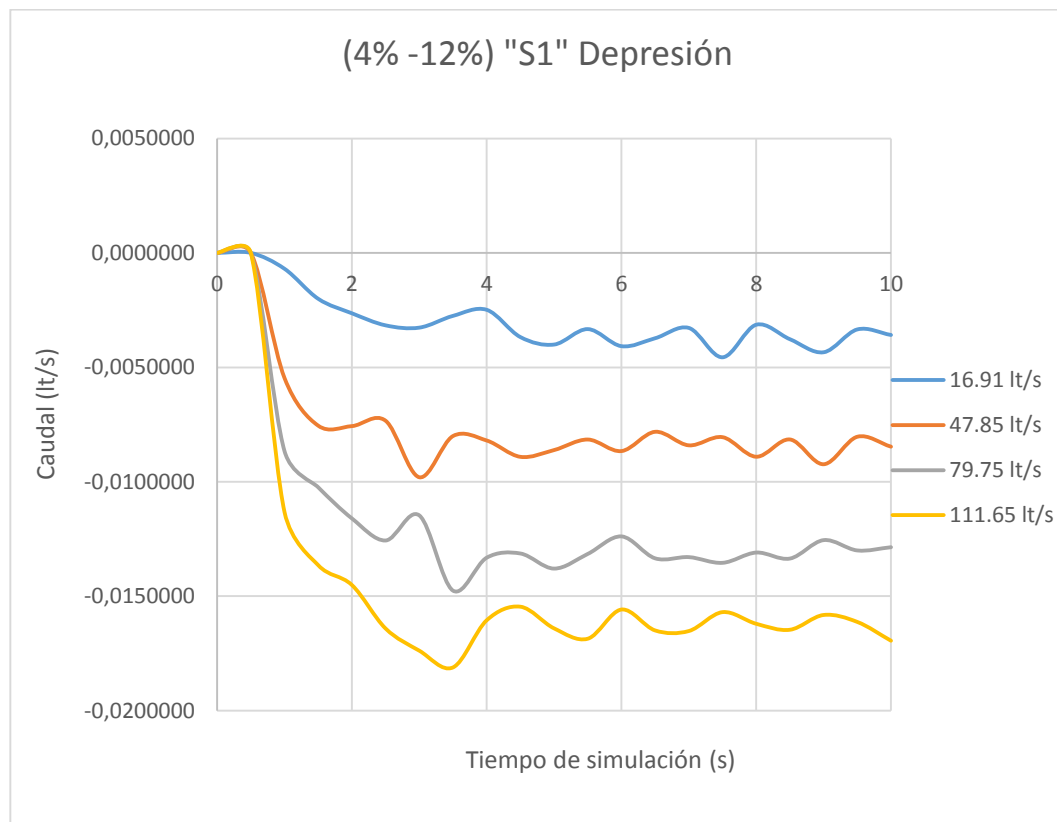
Realizado por: Andrea Acosta

Tiempo de simulación

Este es el tiempo que le toma estabilizarse al fluido, a cada escenario se le realizó un tiempo de simulación de 10 segundos, hay que decir que para cada escenario fue diferente tomando en cuenta todos los parámetros ya anteriormente descritos, teniendo así un tiempo de simulación estimado entre 15 y 20 horas para cada escenario.

En la figura 29 se observa como aproximadamente en el segundo 6 el fluido comienza a estabilizarse, el gráfico corresponde a la simulación con pendiente transversal de 2% y pendiente longitudinal de 12% para una rejilla “S1” en depresión.

Figura 30: Estabilización del fluido



Realizado por: Andrea Acosta

3.1.4. Valores de caudales

Los valores de caudales utilizados para las simulaciones se basan en el proyecto experimental: “Modelación hidráulica para la determinación de la eficiencia de los sumideros de aguas lluvia” [9], se determinan los valores de caudales mediante ensayos de laboratorio, en los ensayos se ingresan las pendientes longitudinales y transversales, factores de rugosidad, altura de limnómetro, medidas del vertedero rectangular.

Los valores del proyecto experimental ya mencionado están a escala 1:4 por lo cual se realiza una transformación por un factor como se aprecia en la ecuación 22.

$$Q_e = \frac{Q_{vía}}{Q_{lab}} = Le^{5/2} \quad \text{Ec. 20}$$

$$Q_e = \frac{230}{7.21} = Le^{5/2} \quad \text{Ec. 21}$$

$$Q_e = 31.9 \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

- Q_e = Factor de transformación (adimensional)
- $Q_{vía}$ = Caudal de vía (lt/s)
- Q_{lab} = Caudal medido en laboratorio (lt/s)
- Le = Valor de escala (adimensional)

Obtenido ya el factor de conversión se multiplica por los valores de escala del proyecto experimental “Modelación hidráulica para la eficiencia de los sumideros de aguas

lluvias” [9], para obtener los valores a escala real que se observan en la tabla 12 que utilizaremos en las simulaciones.

Tabla 12: Transformación de valores de escala reducida a escala real, para escenario S1 y S2, bombeo 2%

Pendiente longitudinal (%)	Caudal a escala reducida (lt/s)	Transformación con el factor 31,9	Caudal escala real (lt/s)
0,5 - 4 - 8 - 12	0.53	0.53*31.9	16.91
	1.50	1.50*31.9	47.85
	2.50	2.50*31.9	79.75
	3.50	3.50*31.9	111.65

Realizado por: Andrea Acosta

En la tabla 13 tenemos los valores de caudales a utilizarse en las simulaciones junto a las combinaciones de pendientes longitudinal y transversal.

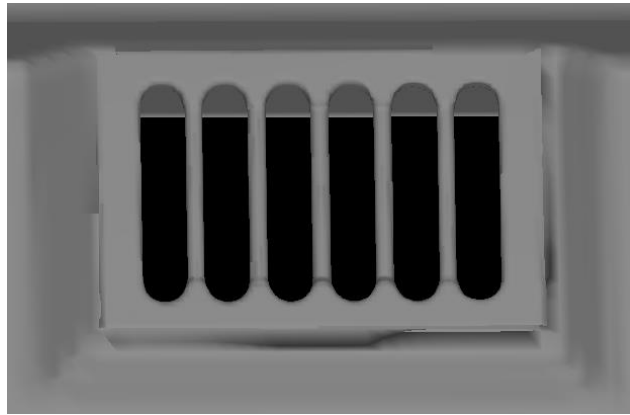
Tabla 13: Combinaciones de caudales y pendientes.

Pendiente Transversal	Pendiente Longitudinal	Combinaciones	Escenarios	Caudal (lt/s)
2%	0,50%	(2% - 0,50%)	S1 - S2	16,91
	4%	(2% – 4%)		47,85
	12%	(2% - 12%)		79,75
				111,65
4%	0,50%	(4% - 0,5%)	S1 - S2	16,91
	4%	(4% - 4%)		47,85
	12%	(4% – 12%)		79,75
				111,65

Realizado por: Andrea Acosta

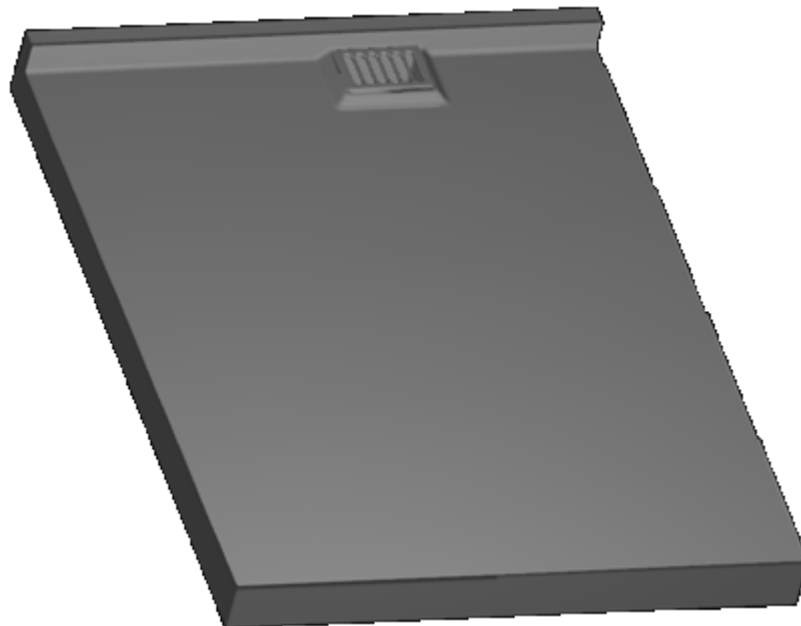
3.1.5. Renderización de un modelo representativo mediante programas computacionales CFD

Figura 31: Renderizado de sumidero tipo T45



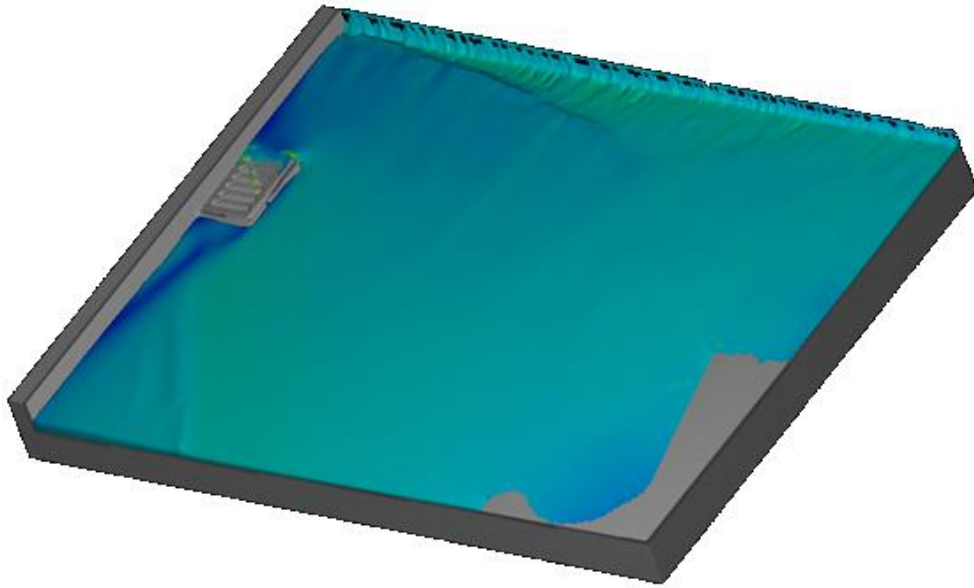
Realizado por Andrea Acosta

Figura 32: Renderizado de media vía con sumidero tipo T45



Realizado por Andrea Acosta

Figura 33: Renderizado de simulación en el programa CFD



Realizado por: Andrea Acosta

3.1.6 Caudales obtenidos en la modelación de sumidero tipo T45

En la tabla 14 se observan los caudales obtenidos de la simulación en el programa CFD para sumideros de una rejilla en elevación con pendiente longitudinal (0.5% - 4% - 12%) y transversal (2% - 4%)

Tabla 14: Caudales de combinaciones en elevación con 1 sumidero “S1”, expresado en lt/s

Caudales	Combinaciones en elevación					
	(0,5% - 2%)	(0,5% - 4%)	(4% - 2%)	(4% - 4%)	(12% - 2%)	(12% - 4%)
16,91	0	0,10	0,11	0,01	0,41	0,53
47,85	0,12	2,65	3,34	0,53	2,17	2,61
79,75	0,85	5,77	5,32	3,52	5,74	5,38
111,65	2,48	11,21	2,91	6,22	7,06	7,04

Realizado por: Andrea Acosta

En la tabla 15 tenemos los caudales obtenidos de la simulación en el programa CFD para sumideros de una rejilla en depresión con pendiente longitudinal (0.5% - 4% - 12%) y transversal (2% - 4%)

Tabla 15: Caudales de combinaciones en depresión con 1 sumidero “S1”, expresado en lt/s

Caudales	Combinaciones en depresión					
	(0,5% - 2%)	(0,5% - 4%)	(4% - 2%)	(4% - 4%)	(12% - 2%)	(12% - 4%)
16,91	5,60	7,08	3,44	7,27	2,03	3,74
47,85	4,36	16,35	9,46	13,70	6,98	8,45
79,75	15,30	26,50	14,27	17,90	19,59	13,12
111,65	20,20	32,21	16,29	21,85	15,20	16,21

Realizado por: Andrea Acosta

En la tabla 16 tenemos los caudales obtenidos de la simulación en el programa CFD para sumideros de dos rejillas en elevación con pendiente longitudinal (0.5% - 4% - 12%) y transversal (2% - 4%).

Tabla 16: Caudales de combinaciones en elevación con 2 sumideros “S2”, expresado en lt/s

Caudales	Combinaciones en elevación					
	(0,5% - 2%)	(0,5% - 4%)	(4% - 2%)	(4% - 4%)	(12% - 2%)	(12% - 4%)
16,91	8,88	11,84	6,20	7,31	4,13	5,60
47,85	15,28	18,56	12,88	15,95	10,82	13,44
79,75	15,91	22,80	17,85	20,43	19,59	19,53
111,65	18,47	24,13	22,46	24,41	18,93	23,96

Realizado por: Andrea Acosta

En la tabla 17 visualizamos los caudales obtenidos de la simulación en el programa CFD para sumideros de dos rejillas en depresión con pendiente longitudinal (0.5% - 4% - 12%) y transversal (2% - 4%)

Tabla 17: Caudales de combinaciones en depresión con 2 sumideros “S2”, expresado en lt/s

Caudales	Combinaciones en depresión					
	(0,5% - 2%)	(0,5% - 4%)	(4% - 2%)	(4% - 4%)	(12% - 2%)	(12% - 4%)
16,91	7,57	12,17	5,53	5,89	4,26	4,25
47,85	15,73	21,56	11,70	14,18	8,15	10,58
79,75	19,17	28,93	16,26	16,71	12,89	17,00
111,65	26,83	37,45	20,42	23,29	9,67	22,44

Realizado por: Andrea Acosta

3.1.7. Calibración entre el modelo físico y modelo matemático

Se realiza la calibración entre el modelo físico y modelo matemático para verificar que modelo tiene mejor eficiencia, las tablas y gráficas a continuación representan la comparación realizada entre eficiencias para el sumidero tipo T45

Para realizar esta calibración nos basamos en la ecuación 23 tomada del estudio “Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales” [6]

$$E(Q) = \beta * Q^{-\alpha} \quad Ec. 23$$

Donde:

α y β = Parámetros de ajuste (adimensionales)

En las siguientes tablas tenemos los valores numéricos para α y β tomados del mismo estudio, en la tabla 18 tenemos valores para sumidero S1 y la tabla 19 contiene valores numéricos para sumideros S2.

Tabla 18: Valores numéricos de parámetros α y β para sumidero S1 y coeficientes de determinación de coeficientes ajustado R^2_{adj}

	j= 0,5%	j= 4%	j= 12%
i= 2%	$\alpha= 0,68$	$\alpha= 0,65$	$\alpha= 0,47$
	$\beta= 60,31$	$\beta= 47,19$	$\beta= 13,91$
	$R^2_{adj}= 0,999$	$R^2_{adj}= 0,998$	$R^2_{adj}= 0,989$
i= 4%	$\alpha= 0,56$	$\alpha= 0,38$	$\alpha= 0,19$
	$\beta= 56,30$	$\beta= 31,55$	$\beta= 14,42$
	$R^2_{adj}= 0,997$	$R^2_{adj}= 0,998$	$R^2_{adj}= 0,998$

Realizado por: Andrea Acosta

Tabla 19: Valores numéricos de parámetros α y β para sumidero S2 y coeficientes de determinación de coeficientes ajustado R^2_{adj}

	j= 0,5%	j= 4%	j= 12%
i= 2%	$\alpha= 0,55$	$\alpha= 0,60$	$\alpha= 0,64$
	$\beta= 77,32$	$\beta= 63,61$	$\beta= 35,28$
	$R^2_{adj}= 0,987$	$R^2_{adj}= 0,996$	$R^2_{adj}= 0,999$
i= 4%	$\alpha= 0,55$	$\alpha= 0,42$	$\alpha= 0,39$
	$\beta= 86,94$	$\beta= 60,69$	$\beta= 36,12$
	$R^2_{adj}= 0,998$	$R^2_{adj}= 0,989$	$R^2_{adj}= 0,999$

Realizado por: Andrea Acosta

3.1.8. Cálculo de la eficiencia hidráulica del modelo numérico

Para realizar el cálculo de la eficiencia hidráulica se aplica la ecuación 24, así tenemos:

$$Ef = \left(\frac{Q_{ing}}{Q_{cal}} \right) * 100 \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

Ef = Eficiencia

Q_{ing} = Caudal ingresado (lt/s)

Q_{cal} = Caudal calculado (lt/s)

3.1.9. Tablas y curvas de la eficiencia hidráulica del modelo numérico

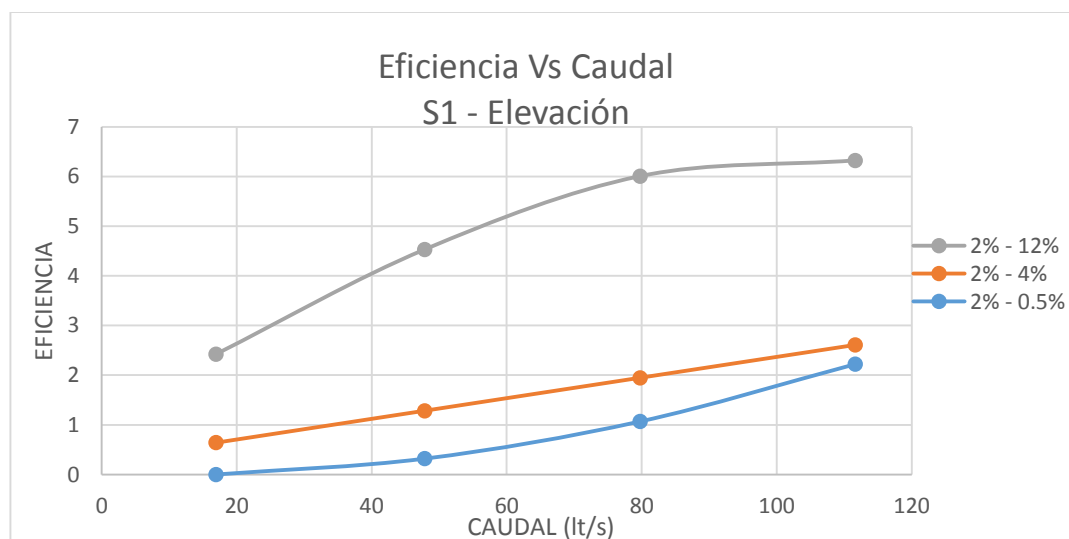
En la tabla 20 y gráfica 33, se observa la eficiencia hidráulica en elevación para un sumidero “S1” con una pendiente transversal de 2% para pendientes longitudinales de 0.50%, 4%, 12%.

Tabla 20: Eficiencia hidráulica en elevación para escenario “S1” con pendiente transversal de 2%

Q ingreso (lt/s)	Pendiente Transversal	% Eficiencia		
		Pendiente Longitudinal		
		0,50%	4%	12%
16,91	2%	0,00	0,64	2,42
47,85		0,26	6,98	4,53
79,75		1,07	6,67	7,20
111,65		2,22	2,61	6,32

Realizado por: Andrea Acosta

Figura 34: Curva de eficiencia S1 – elevación



Realizado por: Andrea Acosta

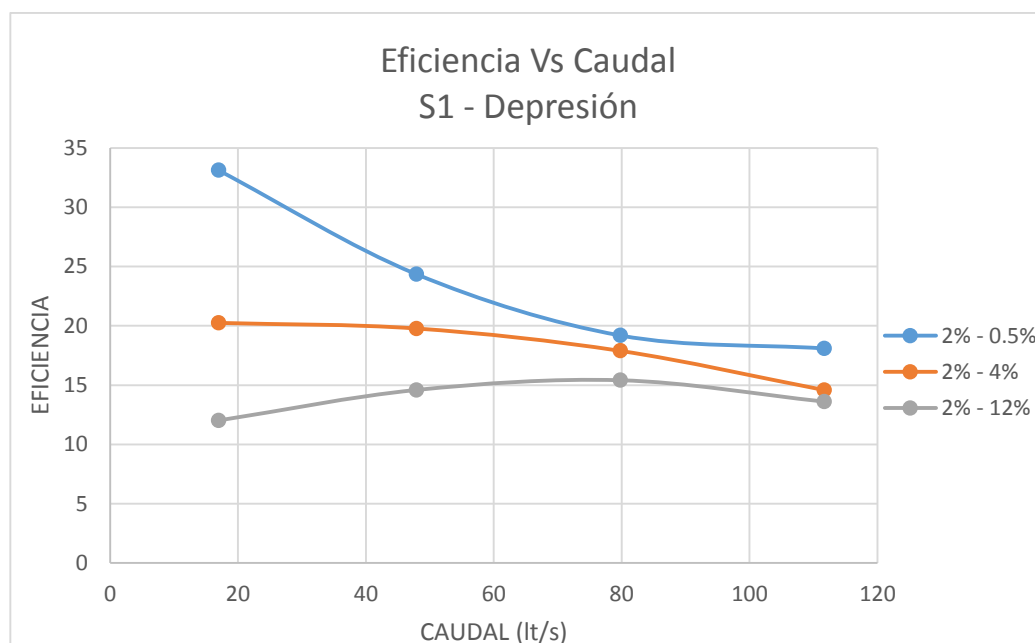
En la tabla 21 y gráfica 34, se observa la eficiencia hidráulica en depresión para un sumidero “S1” con una pendiente transversal de 2% para pendientes longitudinales de 0.50%, 4%, 12%.

Tabla 21: Eficiencia hidráulica en depresión para escenario “S1” con pendiente transversal de 2%

Q ingreso (lt/s)	Pendiente Transversal	% Eficiencia		
		Pendiente Longitudinal		
		0,50%	4%	12%
16,91	2%	33,12	20,35	12,01
47,85		9,11	19,77	14,59
79,75		19,19	17,89	24,56
111,65		18,09	14,59	13,61

Realizado por: Andrea Acosta

Figura 35: Curva de eficiencia S1 – depresión



Realizado por: Andrea Acosta

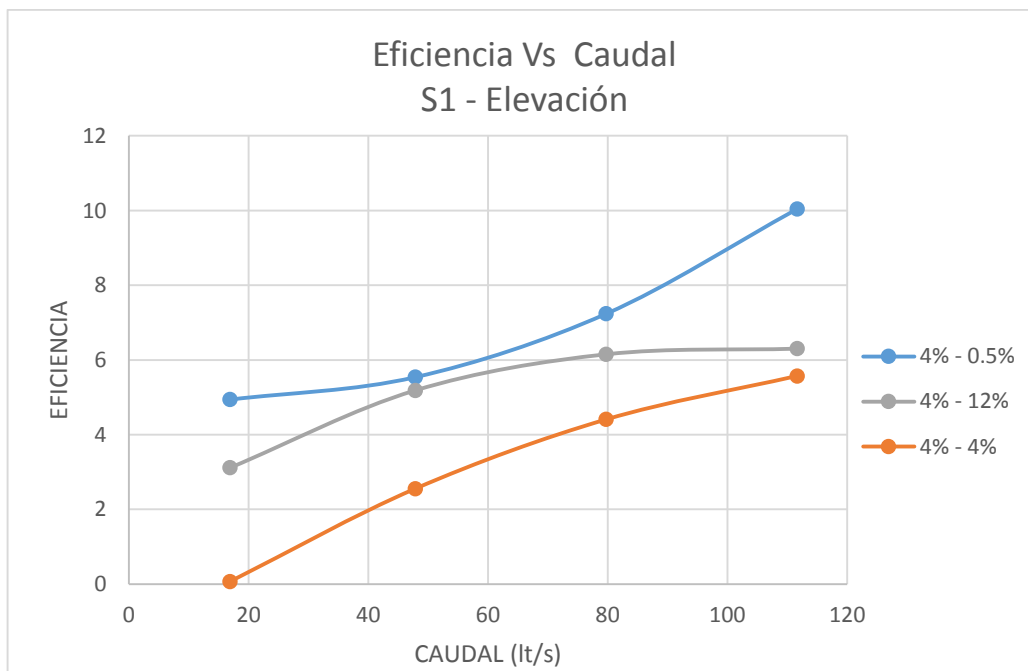
En la tabla 22 y gráfica 35, se observa la eficiencia hidráulica en elevación para un sumidero “S1” con una pendiente transversal de 4% para pendientes longitudinales de 0.50%, 4%, 12%.

Tabla 22: Eficiencia hidráulica en elevación para escenario “S1” con pendiente transversal de 4%

Q ingreso (lt/s)	Pendiente Transversal	% Eficiencia		
		Pendiente Longitudinal		
		0,50%	4%	12%
16,91	4%	0,59	0,07	3,11
47,85		5,54	1,12	5,45
79,75		7,24	4,41	6,74
111,65		10,04	5,57	6,30

Realizado por: Andrea Acosta

Figura 36: Curva de eficiencia S1 – elevación



Realizado por: Andrea Acosta

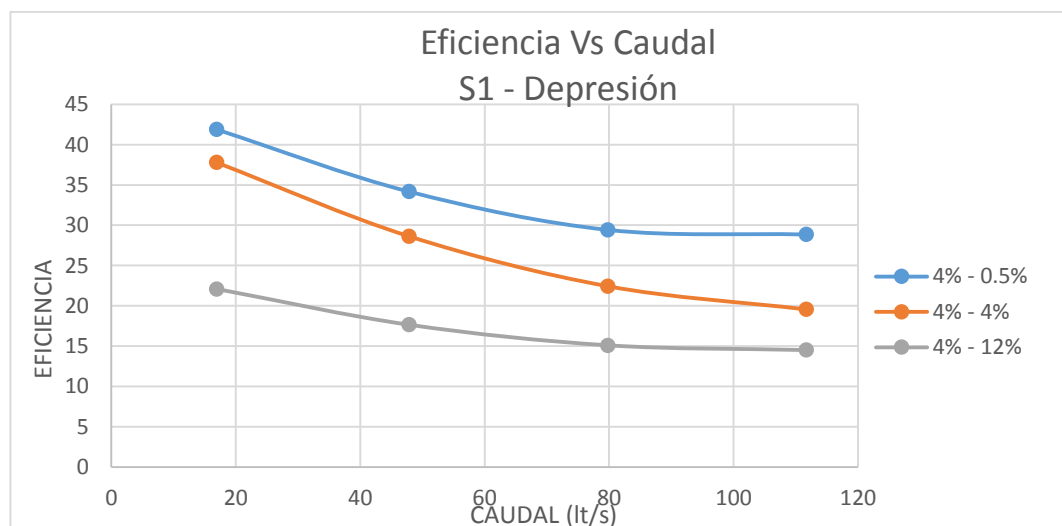
En la tabla 23 y gráfica 36, se observa la eficiencia hidráulica en depresión para un sumidero “S1” con una pendiente transversal de 4% para pendientes longitudinales de 0.50%, 4%, 12%.

Tabla 23: Eficiencia hidráulica en depresión para escenario “S1” con pendiente transversal de 4%

Q ingreso (lt/s)	Pendiente Transversal	% Eficiencia		
		Pendiente Longitudinal		
		0,50%	4%	12%
16,91	4%	41,87	42,99	22,10
47,85		34,17	28,63	17,66
79,75		33,22	22,44	16,46
111,65		28,85	19,57	14,52

Realizado por: Andrea Acosta

Figura 37: Curva de eficiencia S1 – depresión



Realizado por: Andrea Acosta

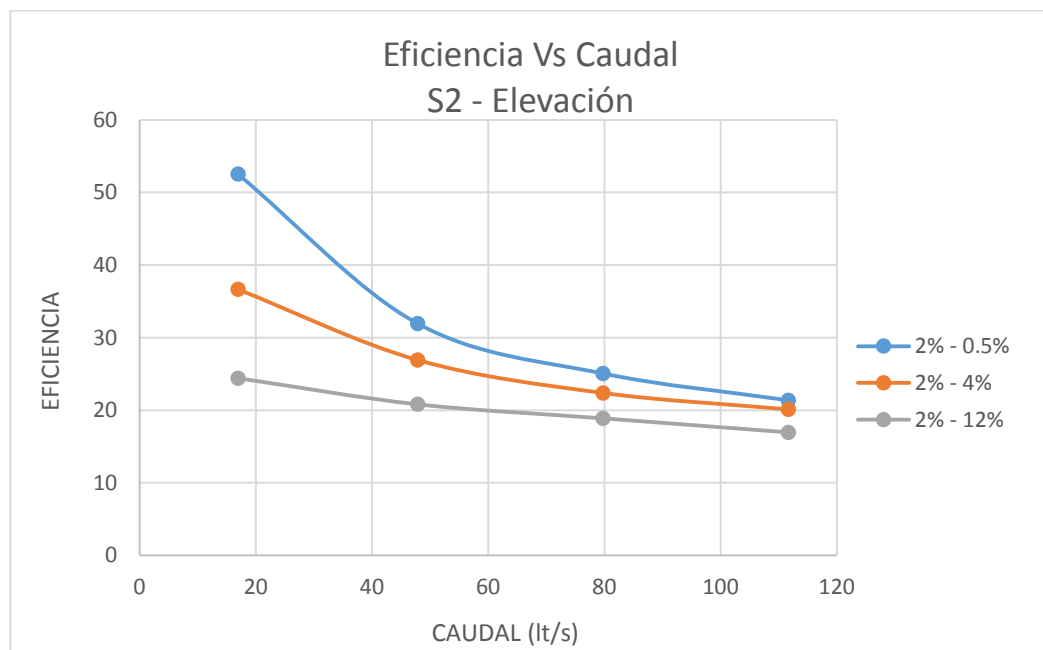
En la tabla 24 y gráfica 37, se observa la eficiencia hidráulica en elevación para dos sumideros “S2” con una pendiente transversal de 2%, para pendientes longitudinales de 0.50%, 4%, 12%.

Tabla 24: Eficiencia hidráulica en elevación para escenario “S2” con pendiente transversal de 2%

Q ingreso (lt/s)	Pendiente Transversal	% Eficiencia		
		Pendiente Longitudinal		
		0,50%	4%	12%
16,91	2%	52,53	36,65	24,41
47,85		31,94	26,92	22,61
79,75		19,95	22,38	24,56
111,65		16,54	20,11	16,95

Realizado por: Andrea Acosta

Figura 38: Curva de eficiencia S2 – elevación



Realizado por: Andrea Acosta

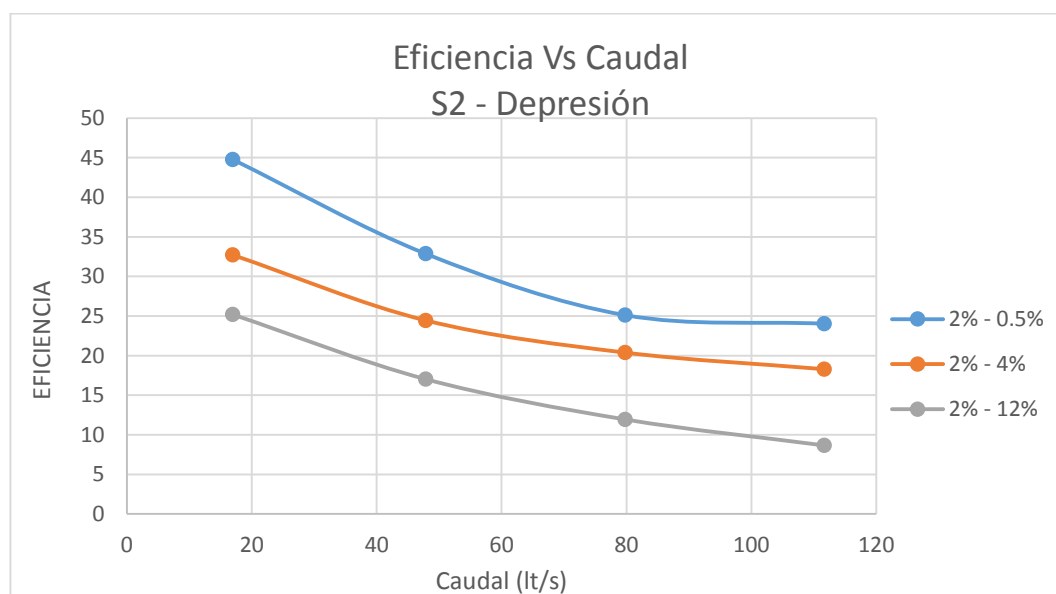
En la tabla 25 y gráfica 38, se observa la eficiencia hidráulica en depresión para dos sumideros “S2” con una pendiente transversal de 2%, para pendientes longitudinales de 0.50%, 4%, 12%.

Tabla 25: Eficiencia hidráulica en depresión para escenario “S2” con pendiente transversal de 2%

Q ingreso (lt/s)	Pendiente Transversal	% Eficiencia		
		Pendiente Longitudinal		
		0,50%	4%	12%
16,91	2%	44,78	32,72	25,20
47,85		32,86	24,45	17,03
79,75		24,04	20,38	16,16
111,65		24,03	18,29	8,66

Realizado por: Andrea Acosta

Figura 39: Curva de eficiencia S2 – elevación



Realizado por: Andrea Acosta

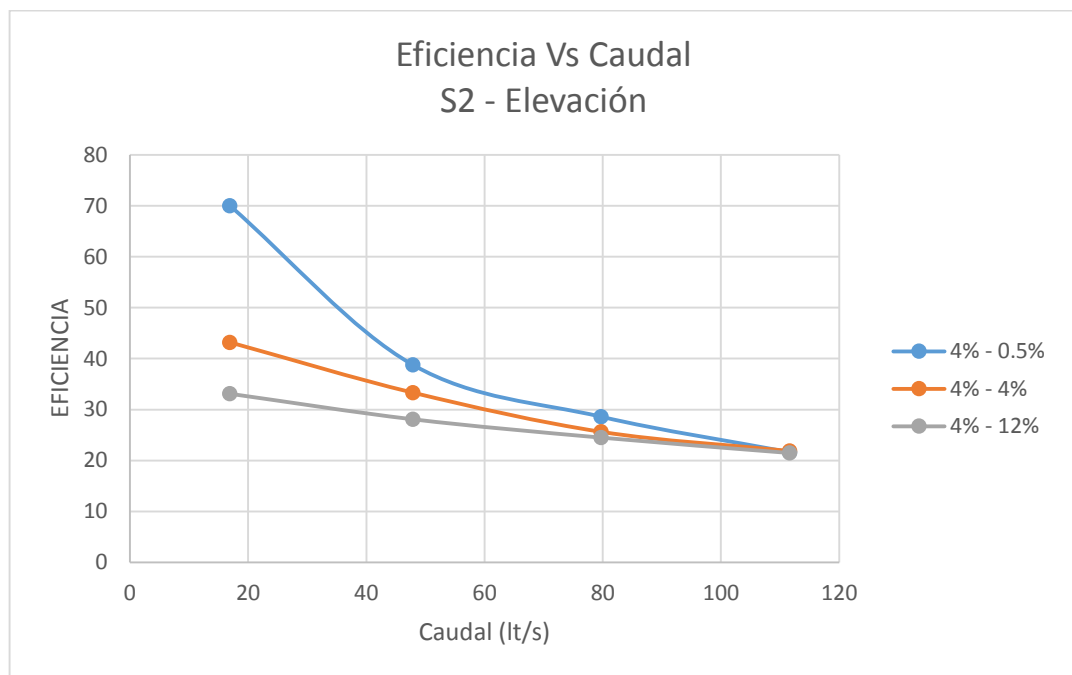
En la tabla 26 y gráfica 39, se observa la eficiencia hidráulica en elevación para dos sumideros “S2” con una pendiente transversal de 4%, para pendientes longitudinales de 0.50%, 4%, 12%.

Tabla 26: Eficiencia hidráulica en elevación para escenario “S2” con pendiente transversal de 4%

Q ingreso (lt/s)	Pendiente Transversal	% Eficiencia		
		Pendiente Longitudinal		
		0,50%	4%	12%
16,91	4%	70,04	43,20	33,10
47,85		38,79	33,33	28,09
79,75		28,59	25,62	24,48
111,65		21,61	21,86	21,46

Realizado por: Andrea Acosta

Figura 40: Curva de eficiencia S2– elevación



Realizado por: Andrea Acosta

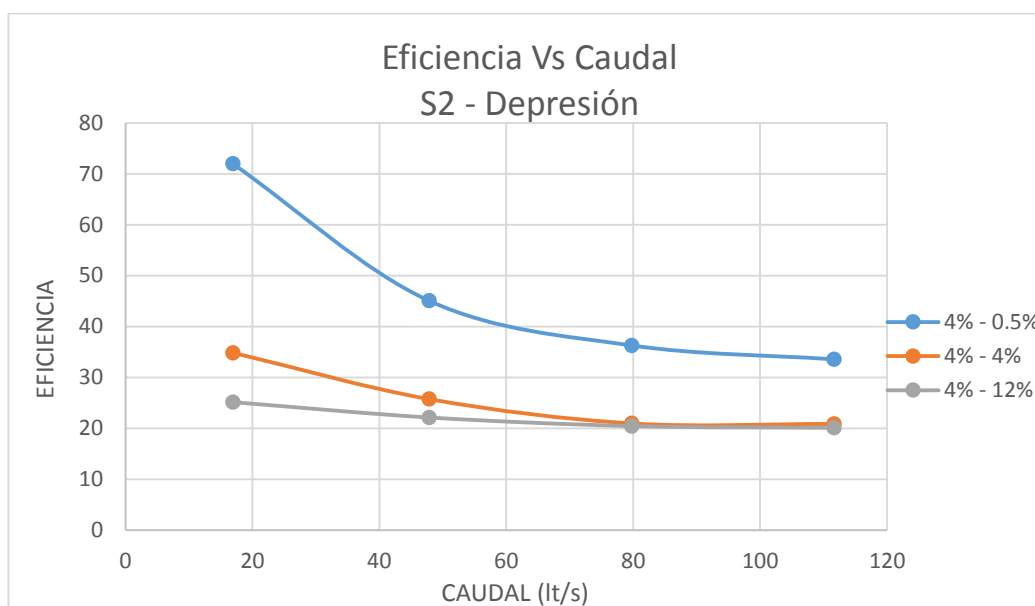
En la tabla 27 y gráfica 40, se observa la eficiencia hidráulica en depresión para dos sumideros “S2” con una pendiente transversal de 4%, para pendientes longitudinales de 0.50%, 4%, 12%.

Tabla 27: Eficiencia hidráulica en depresión para escenario “S2” con pendiente transversal de 4%

Q ingreso (lt/s)	Pendiente Transversal	% Eficiencia		
		Pendiente Longitudinal		
		0,50%	4%	12%
16,91	4%	71,98	34,84	25,14
47,85		45,05	29,62	22,12
79,75		36,28	20,96	21,32
111,65		33,55	20,86	20,10

Realizado por: Andrea Acosta

Figura 41: Curva de eficiencia S1 – depresión



Realizado por: Andrea Acosta

3.2.0. Análisis de escenarios

Se realizará un análisis de escenarios que dispongan de las mismas condiciones como son pendiente transversal con uno y dos sumideros, así mismo en elevación y depresión.

Para el análisis se tomó la mejor muestra de cada escenario, así tenemos en la tabla 28 y gráfica 41 los valores de caudales para el análisis entre S1 y S2 en elevación entre pendiente transversal de 2% y longitudinal de 4%

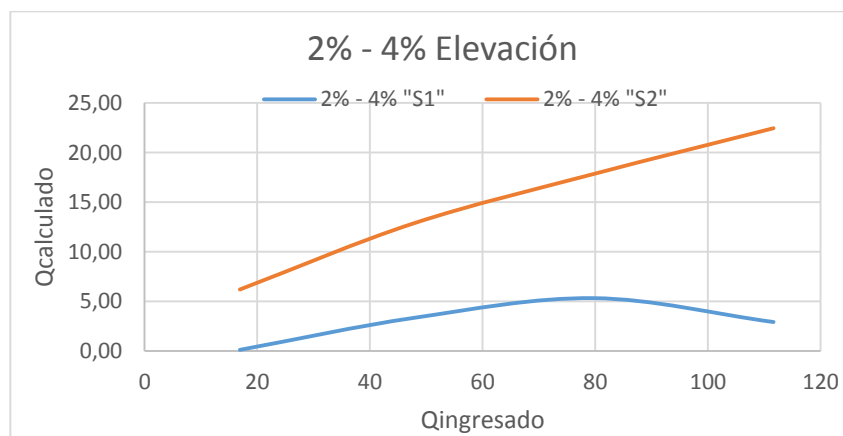
Tabla 28: Comparación de escenarios S1 y S2, pendiente transversal 2% y longitudinal 4%, elevación

Qingresado	Qcalculado	
	S1	S2
	2% - 4%	2% - 4%
16,91	0,11	6,20
47,85	3,34	12,88
79,75	5,32	17,85
111,65	2,91	22,46

Realizado por: Andrea Acosta

En la figura 41 observamos que tiene mejor ingreso de caudal en el sumidero con 2 rejillas pero tiene similitud en su comportamiento en elevación.

Figura 42: Curva de comparación de S1 y S2, pendiente transversal 2%, elevación.



Realizado por: Andrea Acosta

En la tabla 29 tenemos los valores de caudales para el análisis entre S1 y S2 en elevación entre pendiente transversal de 4% y longitudinal de 12%

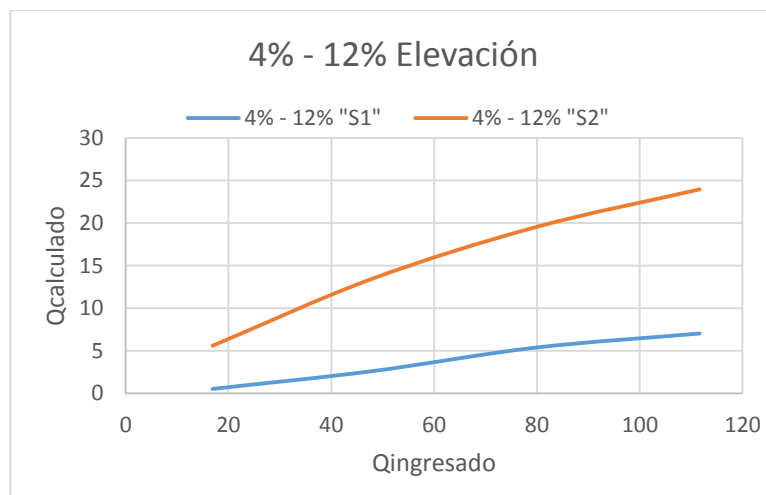
Tabla 29: Comparación de escenarios S1 y S2, pendiente transversal 4% y longitudinal 12%, elevación

	Qcalculado	
	S1	S2
Qingresado	4% - 12%	4% - 12%
16,91	0,53	5,60
47,85	2,61	13,44
79,75	5,38	19,53
111,65	7,04	23,96

Realizado por: Andrea Acosta

En la figura 42 observamos que tiene mejor ingreso de caudal en el sumidero con 2 rejillas para pendiente transversal 4% y pendiente longitudinal 12% pero tienen similitud en su comportamiento en elevación.

Figura 43: Curva de comparación de S1 y S2, pendiente transversal de 4%, elevación.



Realizado por: Andrea Acosta

En la tabla 30 tenemos los valores de caudales para el análisis entre S1 y S2 en depresión entre pendiente transversal de 2% y longitudinal de 4%

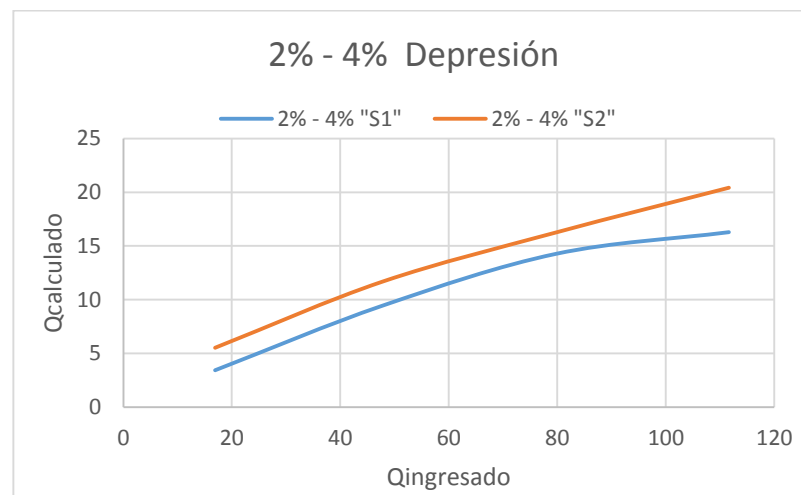
Tabla 30: Comparación de escenarios S1 y S2, pendiente transversal 2% y longitudinal 4%, depresión

	Qcalculado	
	S1	S2
Qingresado	2% - 4%	2% - 4%
16,91	3,44	5,53
47,85	9,46	11,70
79,75	14,27	16,26
111,65	16,29	20,42

Realizado por: Andrea Acosta

En la figura 43 observamos que tiene mejor ingreso de caudal en el sumidero con 2 rejillas pero tienen similitud en su comportamiento en depresión.

Figura 44: Curva de comparación de S1 y S2, pendiente transversal 2%, depresión.



Realizado por: Andrea Acosta

En la tabla 31 tenemos los valores de caudales para el análisis entre S1 y S2 en depresión entre pendiente transversal de 4% y longitudinal de 0.5%

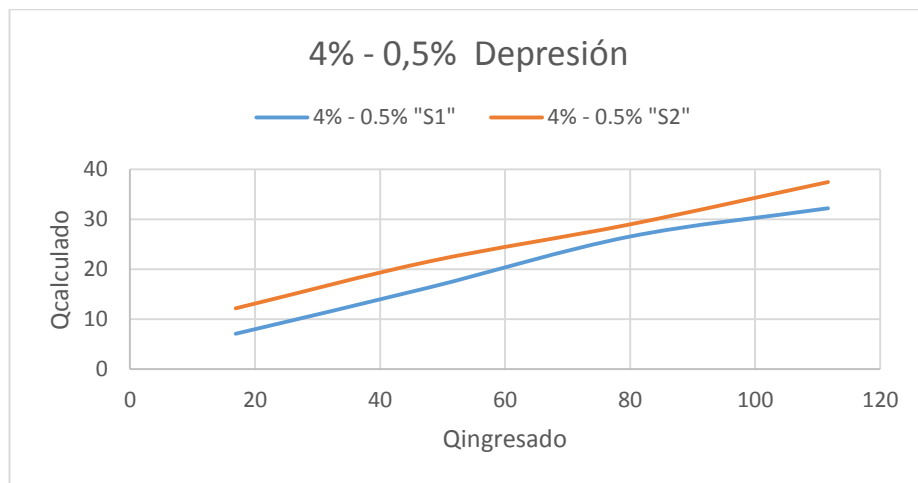
Tabla 30: Comparación de escenarios S1 y S2, pendiente transversal 4% y longitudinal 0.50%, depresión

	Qcalculado	
	S1	S2
Qingresado	4% - 0,50%	4% - 0,50%
16,91	7,08024037	12,1725648
47,85	16,3495	21,5561887
79,75	26,4957798	28,932809
111,65	32,2110367	37,4534906

Realizado por: Andrea Acosta

En la figura 44 observamos que tiene mejor ingreso de caudal en el sumidero con 2 rejillas pero tiene similitud en su comportamiento en depresión.

Figura 45: Curva de comparación de S1 y S2, pendiente transversal 4%, depresión.



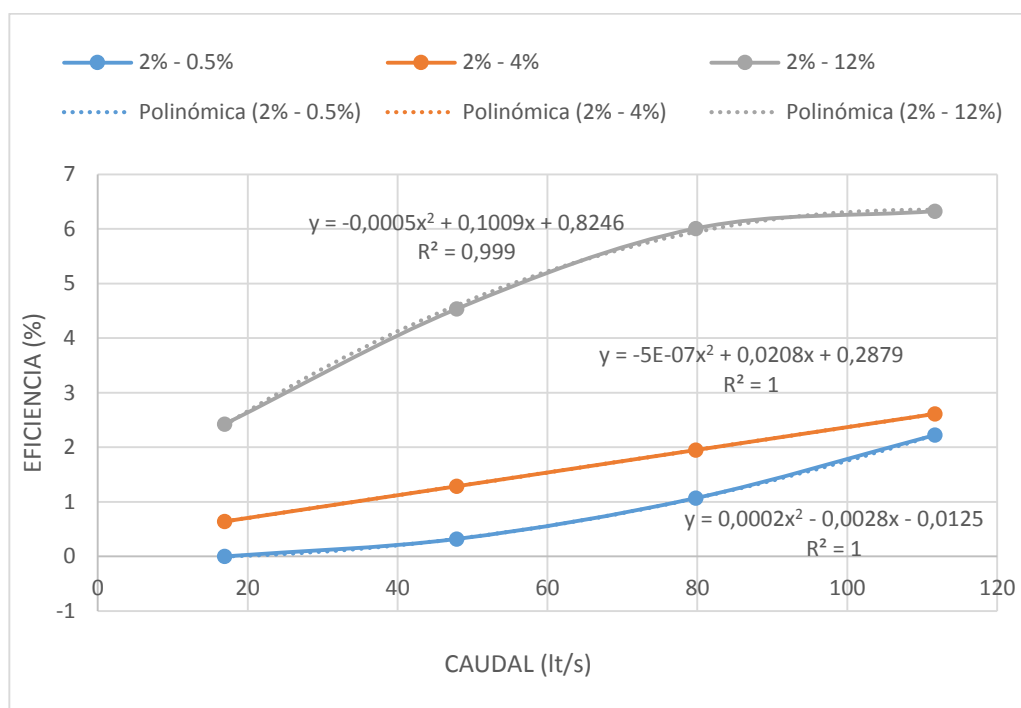
Realizado por: Andrea Acosta

3.2.1. Correlación matemática

Efectuadas las simulaciones en el software de mecánica de fluidos computacionales obtenemos los resultados de caudales de ingreso al sumidero y valores de eficiencia hidráulica, los cuales se grafican en una curva, cada curva representa un escenario, al cual se realiza una correlación matemática adecuada para cada una.

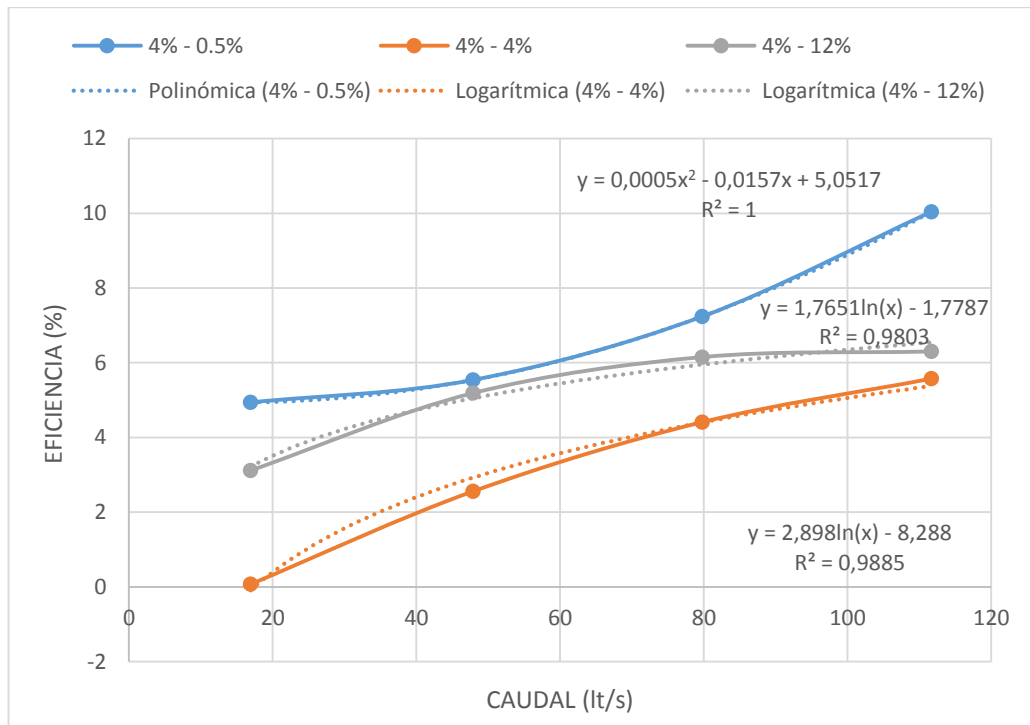
En las figuras que van desde la 45 a 48 representan la correlación matemática del modelo S1 tanto en elevación y depresión para una pendiente transversal 2% y 4% para pendientes longitudinales 0.5%, 4% y 12%.

Figura 46: Correlación matemática para S1 en elevación 2%



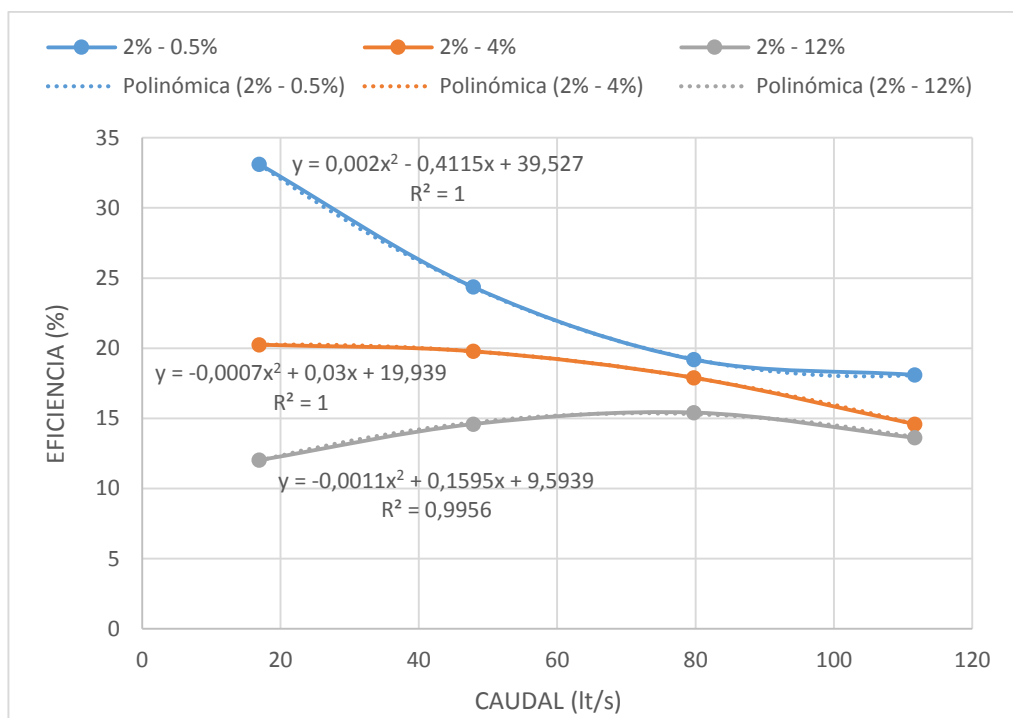
Realizado por: Andrea Acosta

Figura 47: Correlación matemática para S1 en elevación 4%



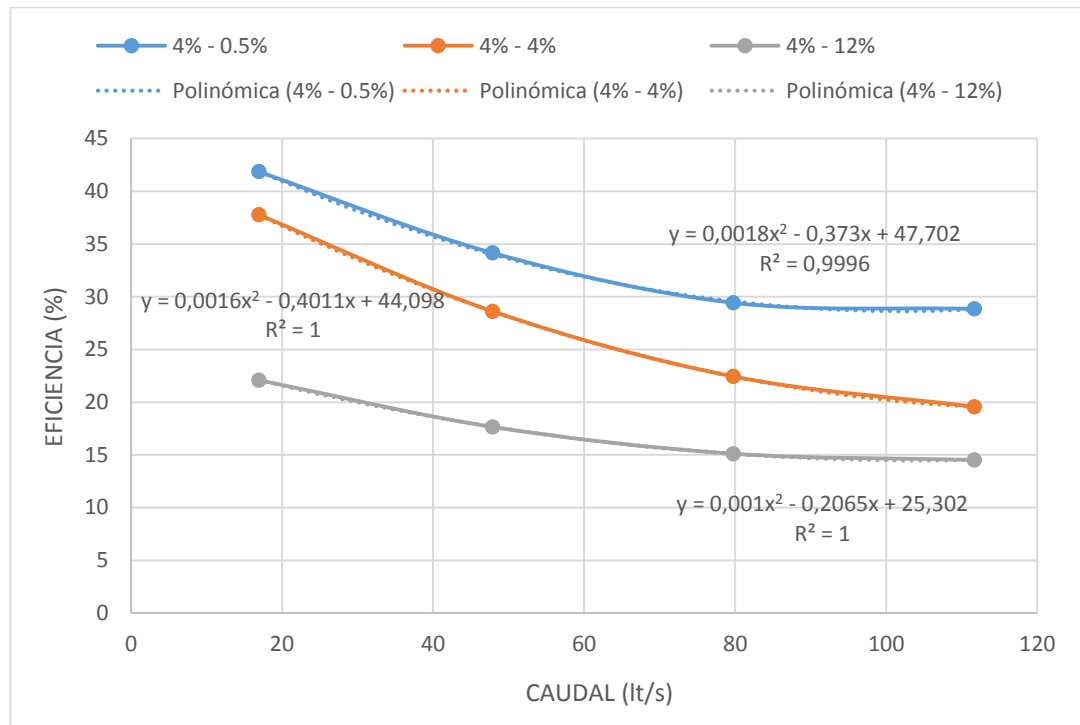
Realizado por: Andrea Acosta

Figura 48: Correlación matemática para S1 en depresión 2%



Realizado por: Andrea Acosta

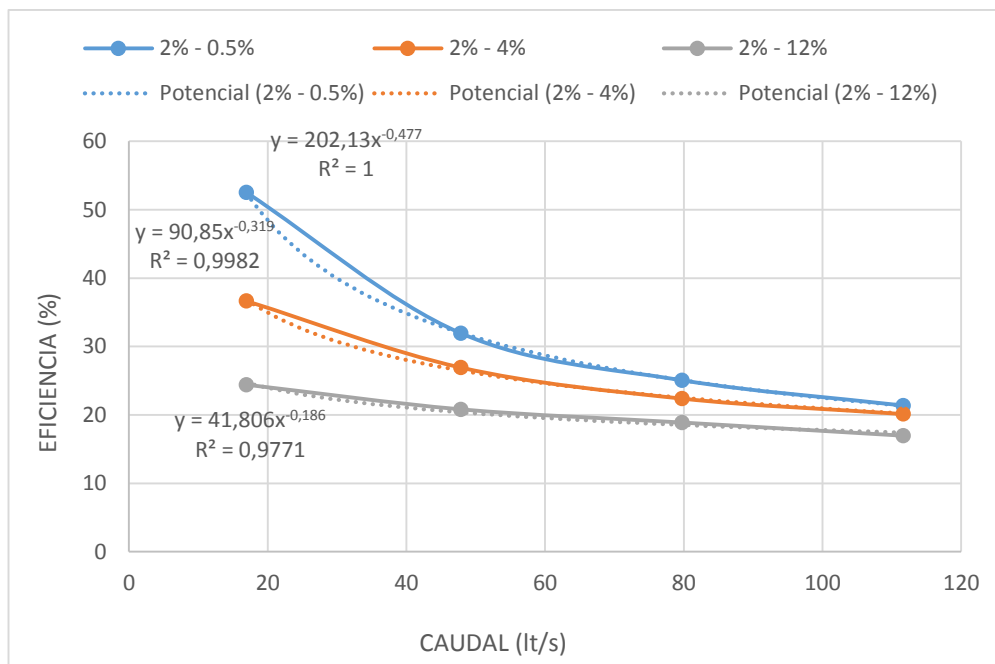
Figura 49: Correlación matemática para S1 en depresión 4%



Realizado por: Andrea Acosta

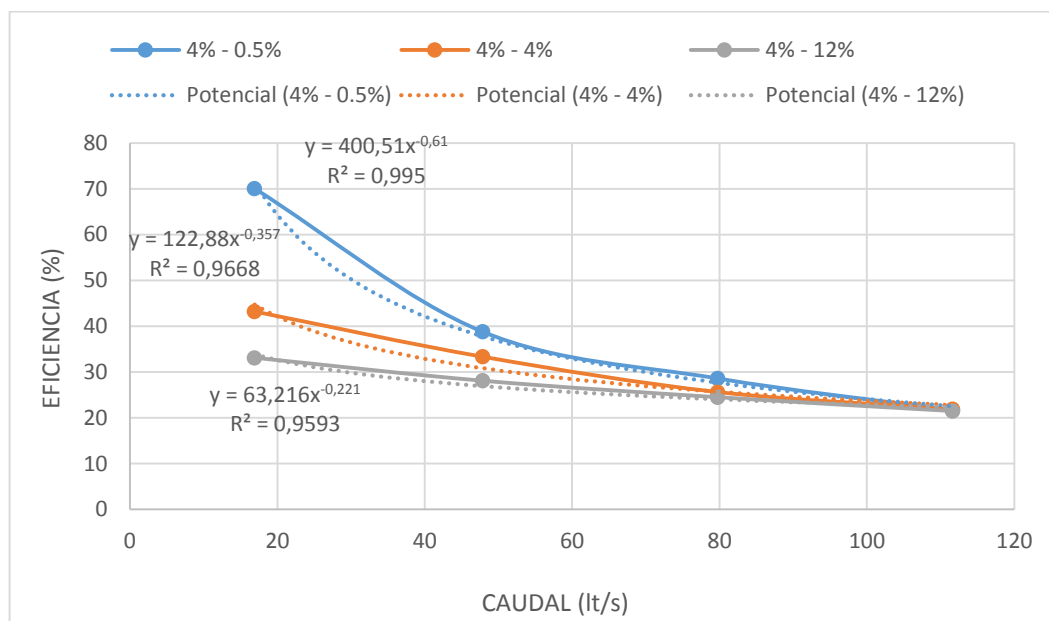
En las figuras que van desde la 49 a 52 representan la correlación matemática del modelo S2 tanto en elevación y depresión para una pendiente transversal 2% y 4% para pendientes longitudinales 0.5%, 4% y 12%.

Figura 50: Correlación matemática para S2 en elevación 2%



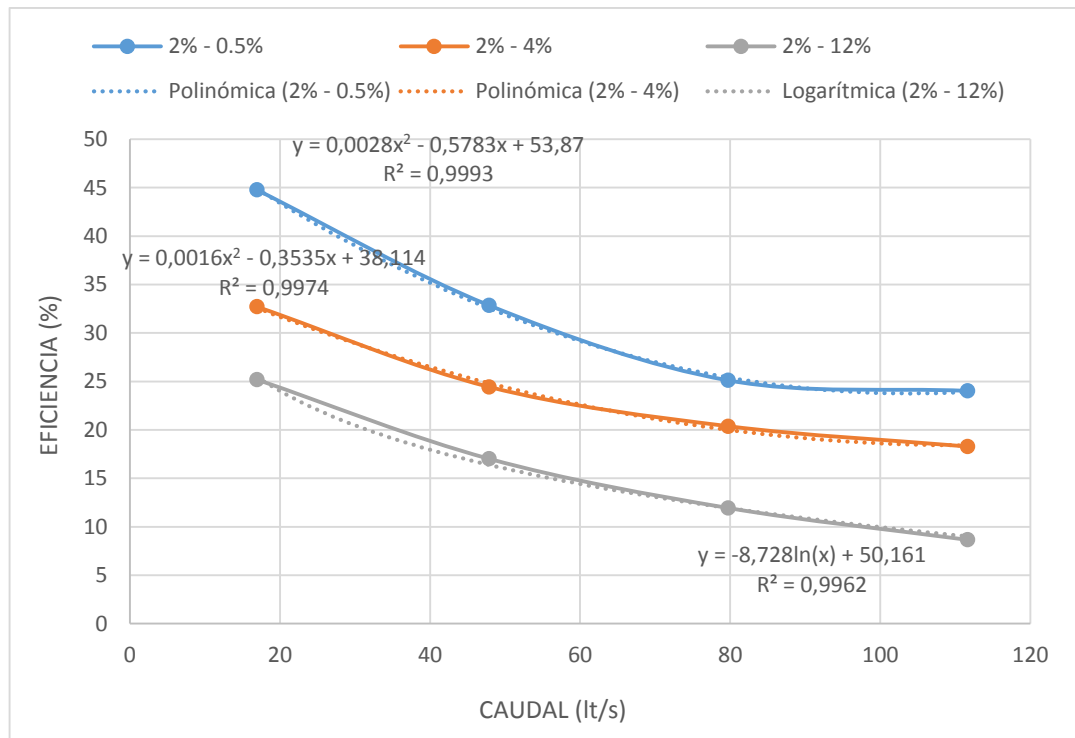
Realizado por: Andrea Acosta

Figura 51: Correlación matemática para S2 en elevación 4%



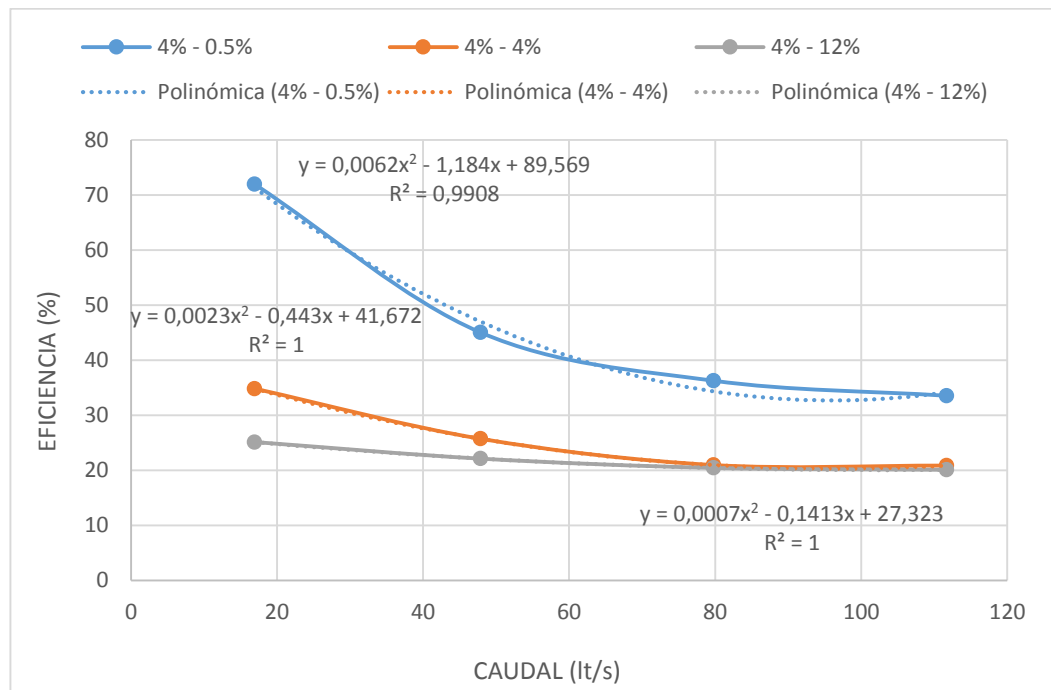
Realizado por: Andrea Acosta

Figura 52: Correlación matemática para S2 en depresión 2%



Realizado por: Andrea Acosta

Figura 53: Correlación matemática para S2 en depresión 4%



Realizado por: Andrea Acosta

3.3 Verificación de hipótesis

En el inicio del presente trabajo experimental se planteó como hipótesis alterna:

“La geometría de sumideros de agua lluvia con modificaciones en elevación y depresión, con pendiente longitudinal tanto como transversal de la vía y caudal de escorrentía superficial representados en un modelo numérico influye en la eficiencia de captación de aguas lluvia.”

Una vez de haber realizado el procesamiento y análisis de resultados se llegó a demostrar:

- Se determinó la eficiencia de captación de los sumideros tipo T45 con una modificación a forma circular de sus rejillas y colocando el mismo en elevación o depresión variando sus pendientes transversales y longitudinales para la captación de agua de escorrentía, encontrando una eficiencia máxima de 41.87% en el modelo con un solo sumidero, y de 71.98% para el modelo de dos sumideros en serie.
- El caudal de entrada es influido por ambas pendientes ya que alteran la velocidad de recorrido del flujo y el paso de este por la rejilla, disminuyendo la eficiencia de captación del agua de lluvia y demostrando una tendencia negativa.
- La geometría del sumidero influye directamente en la eficiencia de captación de la rejilla por la forma de los barros y su disposición en la vía ya que de ello depende el canal a cielo abierto que se forma en el proceso de escorrentía superficial.

Por lo expuesto anteriormente, se acepta la hipótesis alterna como válida debido a directa influencia de la pendiente transversal, longitudinal, el caudal y la geometría influyen en la eficiencia de captación.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Al realizar una comparación de eficiencias hidráulicas entre investigaciones previas y la actual, se concluye que el presente trabajo experimental tiene una menor eficiencia para el modelo S1, siendo en elevación 10.04%, depresión 41.87%, la investigación a comparar fue modelada a nivel de vía siendo 50.20% su eficiencia.
- Al realizar una comparación de eficiencias hidráulicas entre investigaciones, se concluye que el presente trabajo experimental tiene una mayor eficiencia para el modelo S2, siendo en elevación 70.04%, depresión 71.98%, la investigación a comparar fue modelada a nivel de vía siendo 58.61% su eficiencia.
- Las modificaciones que se realizaron en el sumidero de mejor eficiencia hidráulica fue una depresión de 7 centímetros con un ángulo de 45°, se conservan las medidas actuales de sumidero y de vía.
- Los sumideros tipo T45 con modificaciones en depresión con pendiente transversal de 2% y 4%, con pendientes longitudinales de 0.5%, 4% y 12% tienen una mejor eficiencia hidráulica que con sumideros con modificaciones en elevación con los mismos valores en pendiente transversal y pendiente longitudinal.
- El valor máximo de eficiencia para el modelo S1 en elevación es de 10.04% con pendiente transversal de 4% y pendiente longitudinal de 0.5%, el valor mínimo de 0%, para una pendiente transversal de 2% con pendiente

longitudinal 0.5%, el porcentaje de 0% se da para un caudal bajo, teniendo en consideración que el fluido debe superar una rampa de 45°.

- Para eficiencias de modelos S1 en depresión el valor máximo es de 41.87% con pendiente transversal 4% y pendiente longitudinal de 0.50%, el valor mínimo es 12.02% en pendiente transversal 2% con pendiente longitudinal 12%.
- En modelos S2 en elevación el valor máximo de eficiencia es 70.04% para pendiente transversal 4% con pendiente longitudinal 0.50%, siendo la menor eficiencia 16.95% con pendiente transversal 2% con pendiente longitudinal 12%.
- El valor máximo de eficiencia para modelos S2 con modificaciones en depresión es 71.98% para pendiente transversal 4% con pendiente longitudinal de 0.5%, siendo el valor mínimo 8.66% para una pendiente transversal 2% con pendiente longitudinal de 12%

4.2. Recomendaciones

- Realizar un modelo hidráulico físico a escala con modificaciones en el sumidero tipo T45 en elevación y depresión para obtener valores de captación de agua de escorrentía que permita realizar el proceso de calibración del modelo numérico.
- Realizar nuevas configuraciones en sumideros tipo T45 en elevación en el modelo matemático que puedan tener mejores eficiencias hidráulicas que permitan la implementación en la normativa actual, ya que los sumideros a nivel de vía siguen teniendo una buena eficiencia.

- Destacar la utilización de software de mecánica de fluidos computacionales dentro de este tipo de trabajos experimentales, permiten un mayor conocimiento de nuevas formas viables y sencillas de aportar a la comunidad.
- Profundizar la investigación para caudales bajos, modificando la geometría de captación, debido a la velocidad y cantidad de agua de escorrentía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1 Almazán, Jose Luis , «ATHA - Asociación de Fabricantes de Tubos de Hormigón Armado,» 11 Junio 2020. [En línea]. Available: http://www.atha.es/atha_archivos/manual/c478.htm.
- [2 A. González, «Universidad Politécnica de Catalunya,» 22 Septiembre 2017. [En línea]. Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/114779/TFG_memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 11 Junio 2020].
- [3 P. Valenzuela y E. Arellano, «DSpace,» 2018. [En línea]. Available: <http://dspace.utalca.cl/handle/1950/11934>. [Último acceso: 11 Junio 2020].
- [4 R. Cortez y E. Kaliski, «Repositorio Académico de la Universidad de Chile,» 2006. [En línea]. Available: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/125300>. [Último acceso: 11 Junio 2020].
- [5 G. Montoya, «Scielo,» 2008. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-72102008000100083&script=sci_abstract&tlng=en. [Último acceso: 11 Junio 2020].
- [6 F. Pazmiño, R. Hechavarría, F. Morales y J. Mantilla, «Scielo,» 2017. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382017000300002&script=sci_arttext&tlng=en. [Último acceso: 11 Junio 2020].
- [7 L. Maldonado y M. Bustamante, «Repositorio Universidad Técnica de Ambato,» 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30703>. [Último acceso: 11 Junio 2020].
- [8 L. Maldonado y M. Robalino, «Repositorio Digital Universidad Técnica de Ambato,» 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30643>. [Último acceso: 11 Junio 2020].
- [9 L. Maldonado, N. Ivonne y E. Sanchez, «Repositorio Digital de la Universidad Técnica de Ambato,» 2018. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/28989>. [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [1 X. Ramos, «El Universo,» 12 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/07/12/nota/7903011/inundaciones-ecuador-2020-agua-lluvias-cambio-climatico>. [Último acceso: 13 Julio 2020].
- [1 D. Pallero, «El Comercio,» 7 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/clima-lluvias-quito-inundaciones-plataforma.html>. [Último acceso: 8 Julio 2020].
- [1 «La Hora,» 24 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.lahora.com.ec/noticia/1102308106/fuertes-lluvias-causaron-estragos-en-al-menos-tres-provincias-de-ecuador>. [Último acceso: 13 Julio 2020].

- [1 R. Salcedo, P. Chueca y A. Bayón, «Introduciendo la dinámica de fluidos computacional 3] en el análisis de flujos en medio poroso,» *MSEL*, vol. 10, nº 1, pp. 261-275, 2017.
- [1 Ayuntamiento de Benahaux, «Dipalme,» [En línea]. Available: 4] [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/historicoanexos.nsf/porclasificador/C125739C007A743BC1257296004B3546/\\$File/ESTUDIO%20HIDROLOGICO.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/historicoanexos.nsf/porclasificador/C125739C007A743BC1257296004B3546/$File/ESTUDIO%20HIDROLOGICO.pdf). [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [1 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1 Agosto 2019. [En línea]. Available: 5] <https://www.gob.mx/imta/es/articulos/que-es-una-cuenca-211369?idiom=es>. [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [1 L. Maldonado y M. Romero, «Repositorio Digital Universidad Técnica de Ambato,» 2019. 6] [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30022>. [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [1 G. Pérez, «Ciclo Hidrológico.com,» [En línea]. Available: 7] <https://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>. [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [1 W. Guachamín, F. García, M. Arteaga y J. Cadena, «INAMHI,» 2019. [En línea]. 8] Available: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf. [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [1 «IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales,» 2014. [En 9] línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf..> [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [2 A. López, C. Fuentes, E. González y A. López, «Pérdidas por interceptación de la vegetación 0] y su efecto en la relación intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la lluvia en una cuenca semiárida,» *Tecnología y ciencias del agua*, vol. VIII, nº 4, 2017.
- [2 S. Ibañez, H. Moreno y J. Gisbert, «Universidad Politécnica de Valencia,» [En línea]. 1] Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10779/Tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [2 «Sistema Intermunicipal de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado. SIAPA,» 2] Febrero 2014. [En línea]. Available: <https://www.siapa.gob.mx/transparencia/criterios-y-lineamientos-tecnicos-para-factibilidades-en-la-zmg>. [Último acceso: 10 Noviembre 2020].
- [2 A. Muñoz, «VSIP,» Febrero 2014. [En línea]. Available: <https://vsip.info/capitulo-viii-3-hidrogramas-de-crecidas-pdf-free.html>. [Último acceso: 10 Noviembre 2020].
- [2 «World Meteorological Organization,» 2011. [En línea]. Available: 4] https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4089. [Último acceso: 10 Noviembre 2020].
- [2 «Tutoriales al día - Ingeniería Civil,» 2012. [En línea]. Available: 5] <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/determinacion-de-caudales-maximos-con-el-metodo-racional/>. [Último acceso: 10 Noviembre 2020].

- [2 Mendoza, «Instituto Nacional del Agua,» Marzo 2008. [En línea]. Available: 6] <http://www.wasagn.net/private/admin/ficheiros/uploads/47ac6decaf84e70811097da22ddab634.pdf>. [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [2 J. Araujo y J. Salvador, «Repositorio Digital de la Universidad Central del Ecuador,» 2013. 7] [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1709>. [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [2 L. Maldonado, *Caudales de diseño para drenaje rural y urbano (Método Racional)*, 8] Ambato, 2018.
- [2 E. Chiarito, E. Zimmermann y S. Méndez, «Metodologías para la estimación del 9] coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección,» *Cuadernos de Curiham*, vol. 24, pp. 25-36, 2018.
- [3 Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013. [En línea]. Available: 0] https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf. [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [3 S. Navarro, «Wordpress,» 2003. [En línea]. Available: 1] https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-dedisec3b1o-de-carretera_2003-ecuador.pdf. [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [3 G. Paredes y B. Morocho, «Repositorio Universidad Técnica de Ambato,» 2019. [En 2] línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30173>. [Último acceso: 11 Julio 2020].
- [3 P. Rodríguez, «SlideShare,» Agosto 2008. [En línea]. Available: 3] <https://es.slideshare.net/CarlosPajuelo/hidraulica-de-canales-pedro-rodriguez>. [Último acceso: 16 Julio 2020].
- [3 J. Cortes, «Blogger,» Marzo 2012. [En línea]. Available: 4] <http://ic161hidraulica1.blogspot.com/p/tipos-de-flujos.html>. [Último acceso: 16 Julio 2020].
- [3 P. Ruiz, *Hidráulica de Canales*, México, 2008. 5]
- [3 C. Frías, «Slideshare,» 19 Octubre 2012. [En línea]. Available: 6] <https://pt.slideshare.net/CarlosFriasFraire/numero-de-reynolds-14803948/2?smtNoRedir=1>. [Último acceso: 20 Noviembre 2020].
- [3 M. Naranjo, «SlideShare,» 3 Abril 2015. [En línea]. Available: 7] <https://es.slideshare.net/mgarcianaranjo/energia-especifica-46604328>. [Último acceso: 16 Julio 2020].
- [3 Y. Alvarado, «Blogger,» 6 Abril 2008. [En línea]. Available: 8] <http://mecanicafluidos7mo.blogspot.com/2008/04/flujo-en-canales-abiertos.html>. [Último acceso: 16 Julio 2020].

- [3 A. Abadía, «Scribd,» 2011. [En línea]. Available: 9] <https://es.scribd.com/doc/69167170/FLUJO-CRITICO>. [Último acceso: 20 Noviembre 2020].
- [4 A. Tasneem, «Khan Academy,» [En línea]. Available: 0] <https://es.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy-tutorial/a/what-is-conservation-of-energy>. [Último acceso: 16 Julio 2020].
- [4 J. Fernández y G. Coronado, «FisicaLab,» [En línea]. Available: 1] <https://www.fisicalab.com/apartado/cantidad-movimiento>. [Último acceso: 16 Julio 2020].
- [4 G. Briseño, «Euston,» [En línea]. Available: <https://www.euston96.com/ecuacion-de-continuidad/>. [Último acceso: 20 Noviembre 2020].
- [4 «Qwe. wiki,» 30 Junio 2020. [En línea]. Available: 3] https://es.qwe.wiki/wiki/Computational_fluid_dynamics. [Último acceso: 20 Julio 2020].
- [4 «Presmarymethuen.org,» 26 Abril 2020. [En línea]. Available: 4] <https://presmarymethuen.org/es/dictionary/what-is-the-differences-between-the-physical-model-and-the-mathematics-model/>. [Último acceso: 20 Julio 2020].
- [4 C. Edwin, «Bibdigital Escuela Politécnica Nacional,» 24 Octubre 2016. [En línea]. 5] Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7592/browse?type=author&order=ASC&rpp=5&value=Casa+Tip%C3%A1n%2C+Edwin+Patricio>. [Último acceso: 20 Julio 2020].
- [4 «Qew.kiwi,» [En línea]. Available: https://es.qwe.wiki/wiki/Finite_volume_method. 6] [Último acceso: 20 Julio 2020].
- [4 «Simulaciones y proyectos,» [En línea]. Available: 7] <https://www.simulacionesyproyectos.com/software/flow3d-3/#toggle-id-9>. [Último acceso: 27 Diciembre 2020].
- [4 G. Mirlisenna, «ESSS,» 22 Enero 2016. [En línea]. Available: 8] <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>. [Último acceso: 27 Diciembre 2020].

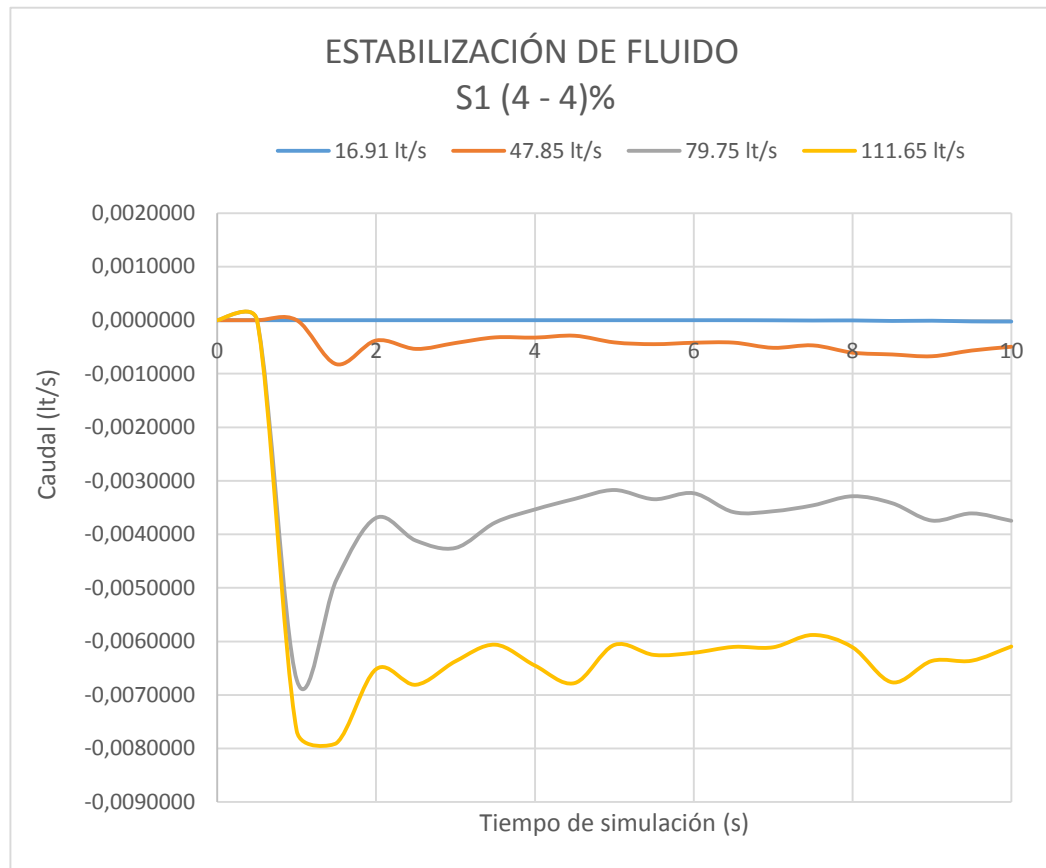
ANEXOS

Tabla 31: Estabilización del fluido para pendiente transversal 4% y longitudinal 4%, S1, elevación

Tiempo	Q (lt/s)			
	Caudal (16,91)	Caudal (47,85)	Caudal (79,75)	Caudal (111,65)
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
0,50	0,000	0,000	0,000	0,000
1,00	0,000	0,000	-6,716	-7,671
1,50	0,000	-0,822	-4,849	-7,901
2,00	0,000	-0,379	-3,693	-6,518
2,50	0,000	-0,536	-4,117	-6,810
3,00	0,000	-0,425	-4,254	-6,371
3,50	0,000	-0,321	-3,779	-6,061
4,00	0,000	-0,325	-3,535	-6,452
4,50	0,000	-0,290	-3,339	-6,779
5,00	0,000	-0,415	-3,172	-6,066
5,50	0,000	-0,448	-3,344	-6,252
6,00	0,000	-0,421	-3,233	-6,213
6,50	0,000	-0,419	-3,584	-6,103
7,00	-0,002	-0,516	-3,569	-6,110
7,50	-0,006	-0,471	-3,459	-5,880
8,00	-0,004	-0,606	-3,289	-6,110
8,50	-0,014	-0,640	-3,418	-6,765
9,00	-0,010	-0,673	-3,743	-6,365
9,50	-0,023	-0,567	-3,609	-6,361
10,00	-0,025	-0,496	-3,747	-6,095

Realizado por: Andrea Acosta

Figura 54: Estabilización de fluido, S1, (4% - 4%), elevación



Realizado por: Andrea Acosta

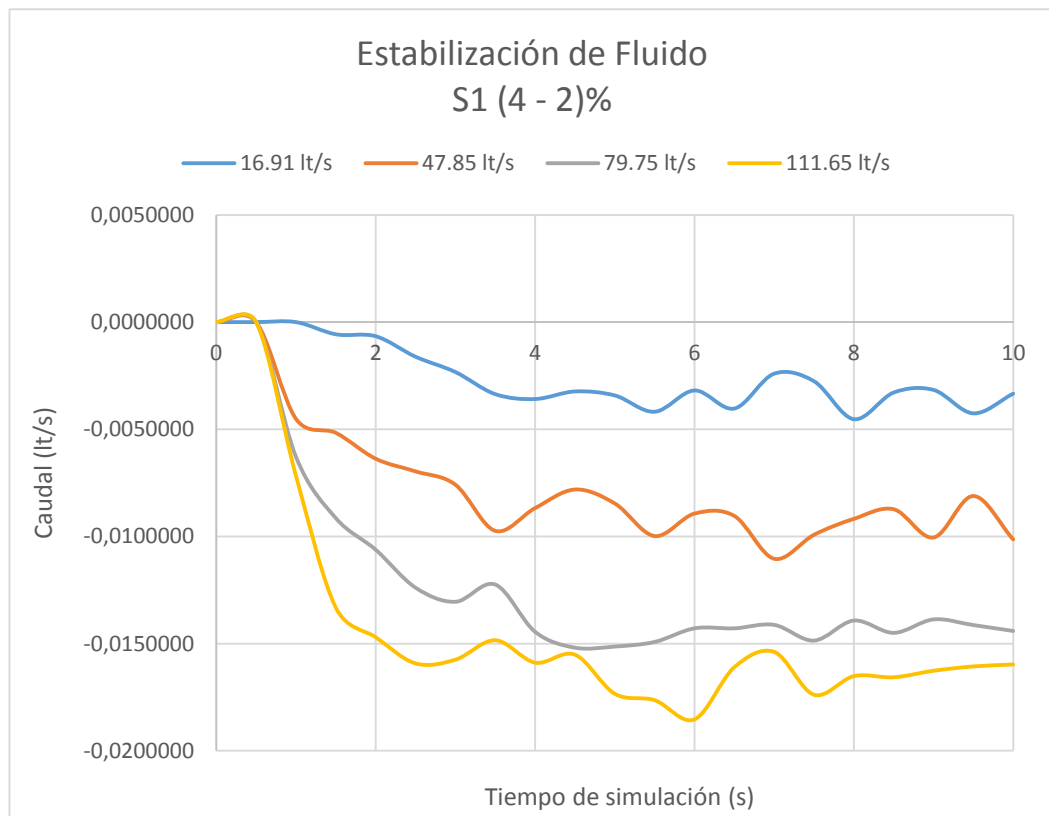
Tabla 32: Estabilización del fluido para pendiente transversal 4% y longitudinal 2%, S1, depresión

Tiempo	Caudal Lt/s			
	Caudal (16,91)	Caudal (47,85)	Caudal (79,75)	Caudal (111,65)
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,00	0,0000	-4,5175	-6,2911	-7,1745
1,50	-0,5690	-5,1686	-9,1487	-13,3290
2,00	-0,6599	-6,3755	-10,6211	-14,7020
2,50	-1,6161	-6,9639	-12,3914	-15,9238
3,00	-2,3290	-7,5856	-13,0491	-15,7538
3,50	-3,3613	-9,7407	-12,2464	-14,8434
4,00	-3,5891	-8,6784	-14,4500	-15,8903
4,50	-3,2357	-7,8104	-15,1907	-15,5173
5,00	-3,4217	-8,4613	-15,1388	-17,3425
5,50	-4,1829	-9,9830	-14,9230	-17,6405
6,00	-3,1894	-8,9346	-14,2882	-18,5373

6,50	-4,0333	-9,0437	-14,2883	-16,1037
7,00	-2,4067	-11,0421	-14,1269	-15,3875
7,50	-2,7589	-9,9237	-14,8601	-17,3881
8,00	-4,5308	-9,1796	-13,9250	-16,5185
8,50	-3,2867	-8,7315	-14,4994	-16,5734
9,00	-3,1640	-10,0507	-13,8722	-16,2678
9,50	-4,2574	-8,1143	-14,1366	-16,0668
10,00	-3,3367	-10,1402	-14,4113	-15,9752

Realizado por: Andrea Acosta

Figura 55: Estabilización de fluido, S1, (4% - 2%), depresión



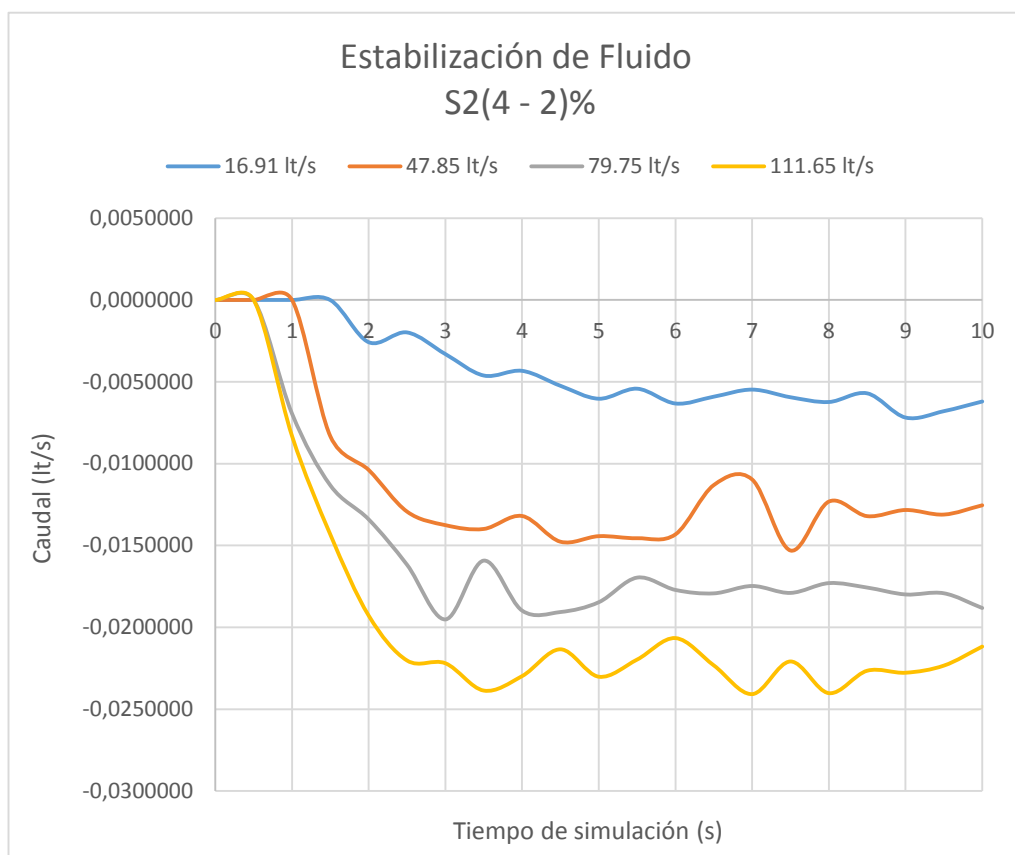
Realizado por: Andrea Acosta

Tabla 33: Estabilización del fluido para pendiente transversal 4% y longitudinal 2%, S2, elevación

Tiempo	Caudal Lt/s			
	Caudal (16,91)	Caudal (47,85)	Caudal (79,75)	Caudal (111,65)
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,00	0,0000	0,0000	-6,9436	-8,3072
1,50	-0,0075	-8,3313	-11,3281	-14,3353
2,00	-2,5819	-10,3865	-13,4072	-19,2877
2,50	-1,9840	-12,9321	-16,1787	-22,0282
3,00	-3,3072	-13,7572	-19,5181	-22,1972
3,50	-4,6159	-13,9914	-15,9237	-23,8643
4,00	-4,3303	-13,1993	-18,9789	-22,9816
4,50	-5,2430	-14,7694	-19,0660	-21,3425
5,00	-6,0337	-14,4305	-18,4657	-23,0179
5,50	-5,4212	-14,5558	-16,9626	-21,9704
6,00	-6,3252	-14,3194	-17,7167	-20,6580
6,50	-5,9087	-11,3079	-17,9251	-22,3255
7,00	-5,4761	-10,9684	-17,4759	-24,0814
7,50	-5,9432	-15,3074	-17,8974	-22,0862
8,00	-6,2336	-12,3187	-17,3001	-24,0230
8,50	-5,7051	-13,2076	-17,5711	-22,6525
9,00	-7,1846	-12,8323	-17,9926	-22,7744
9,50	-6,7934	-13,1100	-17,9203	-22,3386
10,00	-6,2033	-12,5443	-18,8202	-21,1773

Realizado por: Andrea Acosta

Figura 56: Estabilización de fluido, S2, (4% - 2%), elevación



Realizado por: Andrea Acosta

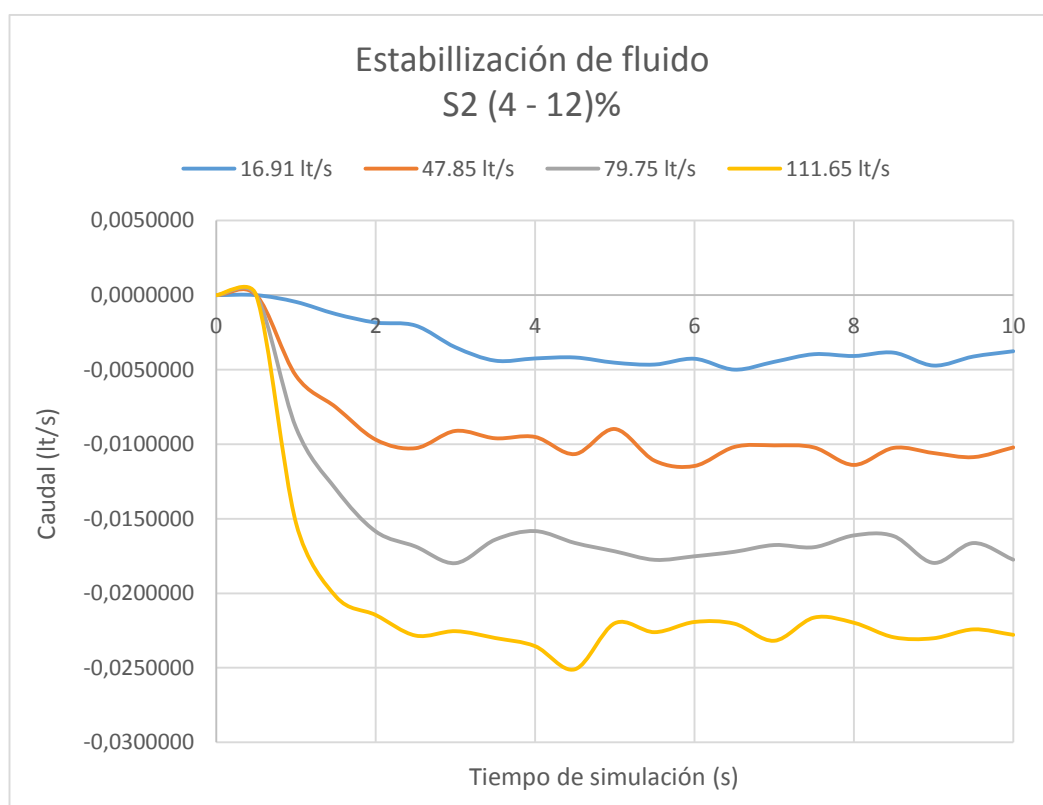
Tabla 34: Estabilización del fluido para pendiente transversal 4% y longitudinal 12%, S2, depresión

Tiempo	Caudal Lt/s			
	Caudal (16,91)	Caudal S. (47,85)	Caudal S. (79,75)	Caudal S. (111,65)
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,00	-0,4547	-5,4101	-8,8926	-15,2890
1,50	-1,2684	-7,5210	-13,0127	-20,2145
2,00	-1,8379	-9,6937	-15,8499	-21,4577
2,50	-2,0418	-10,2670	-16,8655	-22,8367
3,00	-3,4992	-9,1099	-17,9792	-22,5400
3,50	-4,3960	-9,6036	-16,4010	-23,0013
4,00	-4,2464	-9,5127	-15,8293	-23,5492
4,50	-4,1827	-10,6624	-16,6247	-25,0972
5,00	-4,5318	-8,9802	-17,1842	-22,0096
5,50	-4,6554	-11,1103	-17,7561	-22,6090

6,00	-4,2687	-11,4596	-17,5177	-21,9250
6,50	-4,9969	-10,1847	-17,2169	-22,0384
7,00	-4,4753	-10,0790	-16,7643	-23,1857
7,50	-3,9619	-10,2170	-16,9070	-21,6324
8,00	-4,0831	-11,3913	-16,1186	-21,9767
8,50	-3,8588	-10,2462	-16,1645	-22,9500
9,00	-4,7255	-10,5923	-17,9613	-23,0162
9,50	-4,1191	-10,8669	-16,6310	-22,4211
10,00	-3,7642	-10,2170	-17,7465	-22,7882

Realizado por: Andrea Acosta

Figura 57: Estabilización de fluido, S2, (4% - 12%), depresión



Realizado por: Andrea Acosta